Aus dem Pathologischen Institut der Universität Marburg
Kommissarischer Leiter: Prof. Dr. med. P. Schmitz-Moormann

Mikrometrische Untersuchungen an menschlichen Zwerchfellen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
ISOLDE SCHNEIDER, GEB. KAISER
aus Eschwege

Marburg 1978

Aus dem Pathologischen Institut der Universität Marburg
Kommissarischer Leiter: Prof. Dr. med. P. Schmitz-Moormann

Mikrometrische Untersuchungen an menschlichen Zwerchfellen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
des Fachbereiches Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Isolde Schneider geb. Kaiser
aus Eschwege

Marburg 1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von dem Fachbereich Humanmedizin
der Universität Marburg am 22. 9. 1978
gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Humanmedizin
Dekan: Prof. Dr. med. F. Neurath
Referent: Prof. Dr. med. W. Hort
Korreferent: Prof. Dr. med. H. Kalbfleisch

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung	1
2.	Material und Methoden	6
2.1.	Material	6
2.2.	Methoden	6
2.2.1.	Makroskopische Untersuchung	6
2.2.1.1.	Gewinnung der Zwerchfelle	6
2.2.1.2.	Umfangsbestimmung	7
2.2.2.	Histologische Untersuchung	8
2.2.2.1.	Bestimmung der Dicke des Zwerchfells	9
2.2.2.2.	Bestimmung des Interstitiums	10
2.2.2.3.	Bestimmung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen	10
2.2.2.4.	Untersuchungen zur Frage der Muskelfaserlänge	12
3.	Ergebnisse	15
3.1.	Obduktionsgut	15
3.2.	Bestimmung der Dicke des Zwerchfells	21
3.3.	Bestimmung des Interstitiums	29
3.4.	Bestimmung der Muskelfaserquerschnittsflächen	32
3.5.	Bestimmung der Muskelfaseranzahl	51
3.6.	Untersuchungen zur Faserlänge	61
4.	Diskussion	66
5.	Zusammenfassung	83
6.	Literatur	86

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546807_0036

1. Einleitung

Das Zwerchfell besteht aus einem flachen Muskel, der in einer plattenartigen, zentralen Sehne inseriert. Es ist kranialwärts gewölbt und bildet die Grenze zwischen Thorax- und Bauchraum. Seine Lage zwischen den beiden großen Körperhöhlen verleiht ihm eine Sonderstellung unter den willkürlichen Muskeln des Körpers. Form und Stellung des Diaphragma werden durch aktive und passive Kräfte beeinflußt (TÖNDURY, 1967; LOETZKE, 1971), wobei die Kontraktion des Zwerchfells die aktive und die Retraktionskraft der Lungen, der Füllungsdruck und die Last der Baucheingeweide sowie die Bauchpresse die passiven Komponenten darstellen.

Entwicklungsgeschichtlich setzt sich das Zwerchfell aus mehreren Teilen zusammen, die im Laufe der Embryogenese miteinander verwachsen. An den "Nahtstellen" können - dem Chirurgen wohlbekannt - Lücken bzw. regelrechte Defektbildungen vorkommen. Letztere geben Anlaß zu Verlagerungen von Baucheingeweiden in den Thoraxraum, den sog. Zwerchfellhernien.

In solchen Situationen mit Defektbildung kann das Zwerchfell einer seiner Aufgaben - nämlich den Druckausgleich zwischen Brust- und Bauchraum zu bewerkstelligen - nicht gerecht werden. Die wesentlichste Funktion erfüllt das Diaphragma bei der Atmung. Es stellt den Hauptatemmuskel dar, wird allerdings von weiteren Atemmuskeln (Mm. intercostales) schon normalerweise und in Ausnahmesituationen auch von zusätzlichen sog. Atemhilfsmuskeln unterstützt.

Nach intrauterinen Kontraktionen (s. ESSBACH, 1961), die man - teleologisch betrachtet - als "Training" ansehen kann, kontrahiert sich dieser Muskel vom Beginn des postnatalen Lebens mit dem "ersten Atemzug" bis zum Eintritt des Todes

rhythmisch bei der Inspiration, z.T. unwillkürlich ununterbrochen während des ganzen Lebens und nimmt auch in dieser Hinsicht unter den quergestreiften Muskeln des Körpers eine Sonderstellung ein. Er ist in dieser Beziehung nur dem - allerdings mit wesentlich höherer Frequenz arbeitenden - Herzmuskel vergleichbar.

Es ist zu erwarten, daß pathologische Veränderungen der Atemorgane nicht ohne Auswirkung auf den Hauptatemmuskel bleiben können. Untersuchungen von FROMME (1916), die sich auf Wägungen postmortaler menschlicher Zwerchfelle beschränkten, brachten einigen Aufschluß über Gewichtsverhältnisse des Diaphragma bei unterschiedlichen Erkrankungen, vor allem der Atemwege. Sie fand z.B., daß die Zwerchfellgewichte bei Emphysem mit und ohne Thoraxstarre unter dem altersentsprechenden Mittelwert lagen. Bei seniler Thoraxstarre fand sie ebenfalls eine Atrophie des Zwerchfells mit Verringerung des Zwerchfellgewichts. Darüberhinaus wurden neben makroskopisch - anatomischen Beschreibungen des Zwerchfells (u.a. SCHWEIGGER-SEIDEL et al.,1866; EISLER, 1912; TÖNDURY, 1967) keine systematischen makromorphometrischen Untersuchungen an Zwerchfellen durchgeführt. Mikroskopische Befunde sind öfter im Rahmen der Untersuchung ausgewählter Skelettmuskeln erhoben worden. Dabei interessierten gewöhnlich die Faserquerschnittsflächen im Vergleich der Muskeln untereinander (u.a. HALBAN, 1894; WOHLFART, 1937; BOWDEN et al.,1960) und unter verschiedenen äußeren Bedingungen, z.B. Alter, Ernährung, Training (HALBAN, 1894; HOFFMANN, 1938; JOUBERT, 1956). Kürzlich sind auch makro- und mikromorphometrische Untersuchungen an Zwerchfellen mitgeteilt worden, die

von Patienten mit chronischen Atemwegserkrankungen stammten (STEELE et al., 1973; ISHIKAWA et al., 1973; SCOTT et al., 1976). SCOTT et al. (1976) konnten dabei signifikant größere Faserquerschnittsflächen der Muskulatur in Zwerchfellen von Patienten mit chronischen Atemwegserkrankungen gegenüber den Patienten eines Vergleichskollektivs feststellen.

Darüberhinaus liegen Arbeiten vor, die sich um histophysiologische, elektronenmikroskopische und histochemische Faserdifferenzierung bemühen. Zunächst wurde zwischen "roten" und "weißen" Muskelfasern unterschieden (GRÜTZNER, 1887; SCHIEFFERDECKER, 1909) wobei die roten Muskelfasern sarkoplasmareicher und reicher an relativer Kernmasse und die weißen Muskelfasern fibrillenreicher sind. Die roten Muskelfasern kontrahieren sich langsamer als die weißen, halten die Muskelspannung aber länger.

Andere Autoren (KRÜGER, 1929 und 1952; GÜNTHER, 1952 und 1953) unterscheiden lichtmikroskopisch Fasern mit Fibrillen- und mit Felderstruktur, wobei sich die Fasern mit Felderstruktur wiederum durch ausgeprägtere Gefäßversorgung und größeren Kernreichtum auszeichneten. Letzteren schrieb man Halteleistungen (tonische Funktion), den anderen Bewegungsleistungen (tetanische Funktion) zu. Nach GÜNTHER (1954) beträgt der Anteil an fibrillenhaltigen Fasern beim menschlichen Diaphragma 10 %, bei der Ratte 42 % und beim Hund 5 %.

Spätere Untersuchungen (u. a. GEORGE et al., 1961; GAUTHIER et al., 1966; DAVIES et al., 1971; JENNEKENS et al., 1971) befaßten sich mit der histochemischen Differenzierung der oben genannten Faserarten und

führten eine Einteilung in Typ-I- und Typ-II-Fasern (DUBOWITZ und PEARSE, 1960) ein, wobei letztere Gruppe wiederum durch spezielle Methoden in drei Untergruppen eingeteilt werden kann. Hierbei entspricht die Typ-I-Faser der roten und die Typ-II-Faser der weißen Muskelfaser nach alter Nomenklatur. Die Typ-I-Faser zeichnet sich als langsam arbeitende Faser mit oxydativem Stoffwechsel durch eine hohe Konzentration an oxydativen Enzymen (SDH, NADH) aus. Bei der Typ-II-Faser unterscheidet man einmal die schnell arbeitende IIa-Faser mit gemischt oxydativ-glycolytischem Stoffwechsel und hohem Gehalt an myofibrillärer ATPase, zum anderen die glucosephosphorylasehaltige IIb-Faser mit rein glycolytischem Stoffwechsel.

Elektronenmikroskopische Untersuchungen (BUBENZER, 1966; GAUTHIER et al., 1966) befaßten sich mit dem Mitochondriengehalt der beiden Fasertypen.

Die von uns vorgenommenen Untersuchungen befassen sich nicht mit den Fragen der histochemischen Faserdifferenzierung.
Daraus ergibt sich für die hier vorgelegten Untersuchungen die Zielsetzung, systematisch mikrometrische Daten zu erarbeiten, an denen in späteren Untersuchungen pathologische Zwerchfellveränderungen gemessen werden können.
In diesem Zusammenhang werden die Fragen untersucht,

- ob die Dicke des Zwerchfells in allen Regionen des muskulären Bereichs (ausgenommen der Bereich der Durchtrittspforten) gleich groß ist,
- welchen Anteil Bindegewebe, Gefäße und Nerven (Interstitium) an der Dicke des Zwerchfells insgesamt haben,
- wie groß der Anteil des Interstitiums im Bereich der dicht zusammenliegenden Muskelfasern ist.

Weiterhin soll die Größe der Muskelfaserquerschnittsflächen in den verschiedenen Regionen der Pars muscularis untersucht werden.
Hierbei soll ferner festgestellt werden, ob die obengenannten Größen bei Kindern und Erwachsenen, Männern und Frauen, bei plötzlich oder nach längerem chronischem Leiden Verstorbenen ein unterschiedliches Verhalten zeigen.

Bezüglich der Länge der Muskelfasern soll untersucht werden, ob die Muskelfasern vom Ursprung an der Thoraxwand durchgehend bis zum Centrum tendineum verlaufen oder ob die Länge der Einzelfaser, wie andere Autoren berichten (KÖLLIKER, 1850; HUBER, 1916), nicht der Gesamtlänge der Muskeln entspricht.

Schließlich soll im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen auch nachgeprüft werden, ob sich eine Aussage über die Frage der postnatalen Faservermehrung machen läßt.

2. Material und Methoden

2.1. Material

Die Untersuchungen wurden an insgesamt 20 postmortal entnommenen Zwerchfellen von Patienten im Alter von Mens X bis 86 Jahren durchgeführt. Bis auf vier erwachsene Patienten, die relativ schnell (in einigen Tagen) ad exitum gekommen waren, gingen längerdauernde Krankheiten dem Tod voraus. In keinem Fall lag eine Systemerkrankung der Muskulatur oder des Nervensystems vor.

2.2. Methoden

2.2.1. Makroskopische Untersuchung

2.2.1.1. Gewinnung der Zwerchfelle

Die Diaphragmen wurden im Rahmen der Sektion jedesmal durch dieselbe Person entnommen, von Fett befreit und gewogen (Frischgewicht). Danach wurden sie zwischen zwei Glasscheiben gelegt, von denen die obere das Zwerchfell eben nicht berührte, und bei von unten durchscheinendem Licht betrachtet. Um die Diaphragmen, die in situ ja annähernd halbkugelige Gestalt haben, auf die plane Glasscheibe zu bringen, war es notwendig, den Muskel an jeweils 6 Stellen radiär einzuschneiden (Abb. 1).

Die Betrachtung der von unten beleuchteten Zwerchfelle läßt überwiegend parallel und radiär verlaufende Muskelfaserbündel erkennen. Das Diaphragma erscheint

im muskulären Teil - abgesehen von den verstärkten Zügen der Pars lumbalis, die nicht näher untersucht wurde - gleichmäßig dick. Zwischen den Muskelfaserbündeln befanden sich im Bereich des Trigonum sternocostale kleine dreieckförmige Bindegewebslücken, die vom Ansatzrand her einstrahlten (Abb. 1). Der "Rand" des Centrum tendineum stellte sich als makroskopisch gut sichtbare Grenze zwischen dem durchscheinenden Sehnenzentrum und der dunkleren Muskulatur dar.

2.2.1.2. Umfangsbestimmung

Auf einer auf die obere Glasplatte gelegten Folie wurde dann der äußere Umriß der eingeschnittenen Diaphragmen und der Rand des Centrum tendineum sowie die Lage der Durchtrittspforten (V. cava inf., Aorta, Oesophagus) aufgezeichnet.

Mit einem Kartographenrädchen wurde der auf die durchsichtige Folie aufgezeichnete äußere Umriß sowie der Rand des Centrum tendineum umfahren und so der Umfang der Zwerchfelle im Bereich ihres Ansatzes an der Thoraxwand und der Umfang des Centrum tendineum bestimmt. Auch die Bindegewebslücken wurden ausgemessen. Zwerchfellgewichte und Zwerchfellflächen, d. h. die Gesamtflächen sowie die Fläche des Centrum tendineum wurden bereits zuvor bestimmt (KÖHLER, noch unveröffentlicht).

Die Zwerchfelle wurden dann auf Korkplatten aufgespannt und in 1o %igem Formalin fixiert und aufbewahrt.

2.2.2. Histologische Untersuchung

Zur histologischen Untersuchung wurden von jedem Zwerchfell zahlreiche Gewebsstücke von ca. 2 x o,5 cm Größe (s. Abb.) in paralleler und senkrechter Richtung zum Faserverlauf entnommen, wobei mit besonderer Sorgfalt darauf geachtet wurde, daß die Gewebsstücke genau senkrecht, bzw. parallel zum Faserverlauf geschnitten wurden.

Bei 4 der insgesamt 2o untersuchten Zwerchfelle wurden pro Zwerchfell von 12 verschiedenen Stellen jeweils 2 Gewebsproben aus folgenden Regionen entnommen:

Vier Entnahmestellen lagen - ungefähr gleichweit voneinander entfernt - in ca. 1 cm Abstand vom äußeren Rand beiderseits ventro- und dorsolateral (s. Abb.1); vier weitere Entnahmestellen lagen ca. 1 cm vom Rand des Centrum tendineum entfernt und je vier Entnahmestellen befanden sich etwa in der Mitte des muskulären Teils des Zwerchfells zwischen den beiden vorgenannten Stellen am äußeren und am inneren Rand.

Somit ergaben sich pro Zwerchfell insgesamt 24 Gewebsproben (je 12 längs bzw. quer zum Faserverlauf).

Die Gewebsstücke wurden nach dem Verfahren von Gaskell-Gräff in Gelatine eingebettet. Mit einem Gefriermikrotom wurden 1o µ dicke Schnitte angefertigt und mit Haematoxylin gefärbt. Pro Gewebsprobe wurden 3 histologische Präparate hergestellt. Es ergaben sich somit pro Zwerchfell 36 Längsschnitte und 36 Querschnitte.

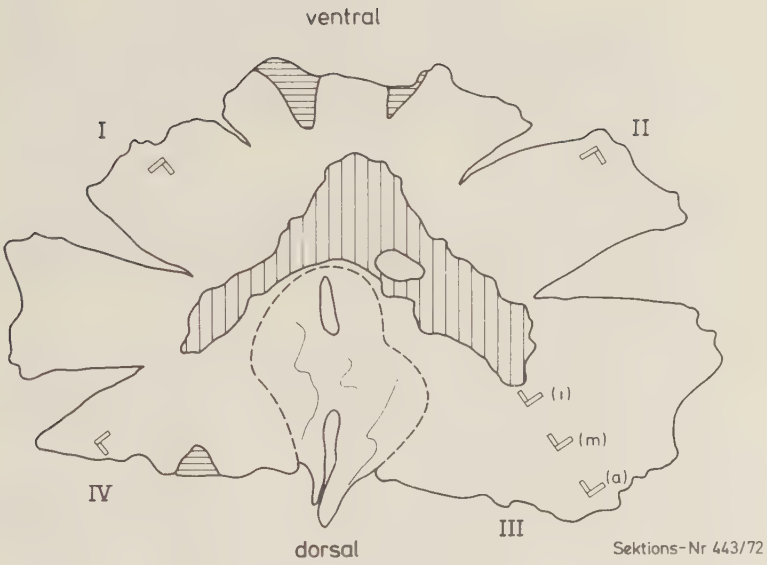

Abb. 1: Zwerchfell eines 1,5 Jahre alten Kindes (Originalpause, Abb.-Maßstab 1:0,5)

Bei den übrigen 16 Zwerchfellen wurden von den Entnahmestellen am äußeren Rand jeweils 4 histologische Präparate pro Gewebsprobe, d. h. zusammen 16 Längsschnitte und 16 Querschnitte pro Zwerchfell in der oben beschriebenen Weise hergestellt.

2.2.2.1. Bestimmung der Dicke des Zwerchfells

Untersucht wurden von 4 Zwerchfellen 36 Längsschnittpräparate pro Zwerchfell, von 16 Zwerchfellen 16 Längsschnittpräparate pro Zwerchfell (s. o.).

Für die Untersuchung wurde ein Leitz-Ortholux-Mikroskop mit Schraubenmikrometerokular bei Objektivvergrößerung 2,5 x bei Erwachsenen und 4 x bei Kindern benutzt. Es wurden an drei Meßstellen pro Längsschnitt die Dicken der Muskelfaserbündel bestimmt. Die Summe der Bündeldicken pro Meßstelle ergab die muskuläre Zwerchfelldicke. Die Mittelwerte pro Präparat lieferten nach Abzug des Interstitiums innerhalb der Muskelfaserbündel (nach Punktzählverfahren bestimmt - s. u.) den rein muskulären Anteil an der Zwerchfelldicke

1. am äußeren Rand bei 16 Zwerchfellen und
2. am äußeren Rand, in der Mitte und am inneren Rand bei vier Zwerchfellen.

Die Gesamtdicke wurde berechnet, indem zur muskulären Dicke der prozentual bestimmte Anteil (s. u.) an nicht muskulärem Gewebe addiert wurde. Dieses Vorgehen erwies sich als zweckmäßig, da für eine mikroskopische Messung der Gesamtdicke des Zwerchfells nach vorausgegangener Abpräparation des subserösen Binde- und Fettgewebes definierte Meßpunkte nicht bestanden. Außerdem zeigte sich, daß eine Abgrenzung zwischen verbliebenem subserösen Gewebe und unmittelbar zum Muskel gehörenden Gewebsstrukturen (z. B. Epimysium) nicht zuverlässig möglich war. Eine mikroskopische Bestimmung der Zwerchfelldicke zwischen den beiden das Zwerchfell an einem bestimmten Meßpunkt kranial und kaudal begrenzenden Muskelfasern wäre wegen Vernachlässigung der zum Muskel gehörenden äußeren Bindegewebsstrukturen ebenfalls ungenau gewesen.

2.2.2.2. Bestimmung des Interstitiums

Die Untersuchungen wurden nach dem Punktzählverfahren mit dem Integrationsokular von Leitz an den oben beschriebenen Gelatineschnitten (Querschnitten) durchgeführt.

1) Das Gesamtinterstitium, d. h. alle außer der Muskulatur im histologischen Präparat enthaltenen Gewebsbestandteile wie Bindegewebe, Gefäße und Nerven, wurde bei 4 Zwerchfellen an je 36 Querschnittspräparaten bestimmt und bei 16 Zwerchfellen an je 16 Querschnittspräparaten. Pro Präparat wurden 15 Gesichtsfelder zufällig gewählt, wobei jedoch so vorgegangen wurde, daß eine doppelte Messung desselben Gesichtsfeldes ausgeschlossen war. Nur sehr wenige Gesichtsfelder mußten ausgelassen werden, da sie artefizielle Gewebslücken enthielten. Die gefundenen Werte, die die Vol.-% des gesamten Interstitiums ausdrücken, wurden dann gemittelt, und aus den Mittelwerten pro Präparat wurde der Gesamtmittelwert pro Zwerchfell bestimmt.

2) Außerdem wurde der prozentuale Anteil des Interstitiums innerhalb solcher Muskelfaserbündel bestimmt, in denen diese Gewebskomponente bei mikroskopischer Durchsicht am geringsten in Erscheinung trat. Dieselben Muskelfaserbündel wurden auch zur Bestimmung der Muskelfaserquerschnittsflächen herangezogen (s. u.), da an diesen Stellen mit vergleichsweise geringem planimetrischen Aufwand möglichst viele Muskelfasern erfaßt werden konnten. Es wurden dieselben Präparate wie bei der vorhergehenden Untersuchung verwendet. Pro Präparat wurden 10 Gesichtsfelder ausgezählt und aus den Mittelwerten pro Präparat in der oben beschriebenen Weise der Gesamtmittelwert pro Zwerchfell bestimmt.

2.2.2.3. Bestimmung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen

Die Untersuchungen wurden mit einem Mikroskop und dem dazugehörigen Zeichentubus der Fa. Wild durchgeführt. Bei Kindern betrug die Objektivvergrößerung 40x, bei Erwachsenen 20x.

Über den Zeichentubus wurden die Umrisse der Faserbündel aufgezeichnet, in denen die Fasern am dichtesten beieinander lagen (s.o.). Es wurden nur Faserbündel gemessen, deren Fasern, soweit unter dem Lichtmikroskop erkennbar, exakt quer geschnitten waren. Jede Muskelfaser innerhalb des umrissenen Bündels wurde durch einen Punkt markiert.

1) Bei 4 Zwerchfellen wurden die Untersuchungen an je 36 Querschnittspräparaten von 12 verschiedenen Stellen (s.o.) vorgenommen, wobei pro Präparat 6 Faserbündel gezeichnet wurden, die zwischen 20 und 40 Einzelfasern enthielten. Die Untersuchungen umfaßten somit zwischen 4000 und 8000 Einzelfasern pro Zwerchfell.

2) Bei 16 Zwerchfellen wurden die Untersuchungen an jeweils 16 Querschnittspräparaten von 4 Entnahmestellen (s.o.) durchgeführt, wobei pro Präparat 10 Faserbündel gezeichnet wurden. Hier ergaben sich zwischen 3000 und 6000 untersuchte Einzelfasern pro Zwerchfell.

Anschließend wurden die Flächen der Faserbündel planimetriert. Durch Division der Faseranzahl durch die Flächen ergab sich die mittlere Querschnittsfläche einer Muskelfaser pro Faserbündel. Danach wurden die Mittelwerte pro Präparat und aus diesen in bereits beschriebener Weise der Gesamtmittelwert pro Zwerchfell bestimmt.

Der zuvor ermittelte prozentuale Anteil des Interstitiums im Bereich der untersuchten Muskelfaserbündel wurde dann von den mittleren Faserquerschnittsflächen abgezogen.

2.2.2.4. Untersuchungen zur Frage der Muskelfaserlänge

1) Von einem in Formalin fixierten Zwerchfell (Sekt.-Nr. 354/72) wurde ein ca. 14 cm langes, 1 cm breites Gewebsstück parallel zum Faserverlauf entnommen. Es umfaßte ca. 2 cm des Centrum tendineum sowie die gesamte Länge der Muskulatur bis zum Ursprung an der Thoraxwand.

2) Von dem Zwerchfell mit der Sekt.-Nr. 145/72 wurde gleich nach der Sektion ein etwa ebensogroßes, unfixiertes Gewebsstück untersucht. Mittels einer feinen Dumont-Pinzette und einer Miller-Nadel wurde versucht, möglichst kleine Faserbündel vom Ansatz bis zum Ursprung an der Thoraxwand zu präparieren, um zu sehen, ob die Faserbündel direkt und ohne daß neue Fasern hinzukommen, vom Ansatz bis zum Ursprung verlaufen.

3) vom Zwerchfell mit der Sekt.-Nr. 95/77 wurde eine Probe für 6 bis 12 Stunden in 45 %igen Alkohol gelegt.

4) Eine weitere Probe desselben Zwerchfells wurde gleich nach der Sektion in 35 %ige Kalilauge gelegt.

5) Vom Zwerchfell mit der Sekt.-Nr. 122 /77 wurde eine Gewebeprobe gleich nach der Sektion in ein flüssiges Medium (MEM Dulbecco, Fa. Seromed) gebracht, das 5 mg/ml Kollagenase enthielt und 0,5 bis 1 Stunde bei 38° C inkubiert.

6) Ein anderes Gewebsstück desselben Zwerchfells wurde ebenfalls unfixiert in 24 %iger Salpetersäure bei 38° C 24 Stunden inkubiert.

Die unter 3) bis 6) aufgeführten Proben wurden unter dem Stereomikroskop von Wild untersucht.

7) Von dem Zwerchfell mit der Sekt.-Nr. 182/72 wurde ein ca. 1 cm langes und 2 - 3 mm breites Gewebsstück links vorn, ca. 3 cm vom Ansatzrand entfernt, entnommen, in 4 je 2 - 3 mm lange Stücke zerteilt und nach Paraffineinbettung im Tissue-Tek-System am Leitz-Serienschnitt-Mikrotom aufgeschnitten. Die Schnittdicken lagen zwischen 7 - 10 µ. Die Serienschnitte wurden dann am Photomikroskop II von Zeiss betrachtet und photografiert.

3. Ergebnisse

3.1. Obduktionsgut

Für die untersuchten Zwerchfelle sind in der Tab. 1 die makroskopisch bestimmten Meßwerte eingetragen. Außerdem enthält die Tabelle die wesentlichsten Befunde der jeweiligen Obduktionsfälle. Daraus geht hervor, daß von den 6 Erwachsenen unter 50 Jahren (erste Gruppe der Erwachsenen - s.u.) 4 Personen ohne chronische Vorerkrankungen an den unmittelbaren Folgen einer Schlafmittelvergiftung, eines Verkehrsunfalls und eines anaphylaktischen Schocks nach relativ kurzer Zeit verstarben. Bis auf eine nach einem Verkehrsunfall verstorbene 27 Jahre alte Patientin wiesen alle Erwachsenen der ersten Gruppe hinsichtlich des Lungenbefundes unter anderem ein Lungenödem auf. Die Erwachsenen über 50 Jahre (zweite Gruppe der Erwachsenen) verstarben alle nach längerem chronischen Leiden und wiesen bis auf eine 52 Jahre alte Patientin ein Lungenemphysem auf. Die Erwachsenen der zweiten Gruppe hatten in bezug auf ihre Körpergröße ein geringeres Körpergewicht, außerdem hatten sie eine im Durchschnitt geringere Zwerchfellfläche sowie ein geringeres Zwerchfellgewicht.

In Tab. 2 sind die Werte der Umfangsmessungen zusammengestellt. Sie lassen erkennen, daß die Zwerchfelle der hier obduzierten Kinder mit einem Durchschnittsalter von 1,6 Jahren etwa halb so große Umfänge des Centrum tendineum und der Gesamtzwerchfelle aufweisen wie die obduzierten Erwachsenen mit einem Durchschnittsalter von 52 Jahren.

Sekt.-Nr.	Geschlecht	Alter	Grundleiden	Todesursache	Lungenbefund	Körpergröße (cm)	Körpergewicht (kg)	Zwerchfellfläche (cm^2)	Zwerchfellgewicht (g)
21/72	m	Mens X	EPH-Gestose	intrauteriner Fruchttod	petechiale Blutungen unter Pleura, geringe Fruchtwasser-Aspiration, fetale Atelektase	50	2,76	133	19,1
38/72	w	8 Tage	Anencephalus		Aspirationspneumonie mit Abszessen, fibrinöse Pleuritis	43	1,88	84,3	8,8
121/72	m	3 Mon	V.a. perakuten Infekt d. Luftwege, terminale Aspiration	Herz- und Kreislaufversagen	mäßig ausgeprägtes Lungenödem, leichtes interstitielles Emphysem	62	6,1	150,2	21,5
107/72	w	3,5 Mon	maligne Virushepatitis	Herz- und Kreislaufversagen	fleckförm. Atelektasen Blutstauung und Hypostase in den abhängigen Lungenpartien	63	5,3	163,7	21
585/71	m	6 Mon	Trisomie	interstitielle Pneumonie mit Aspiration	erhebl. interstitielle Pneumonie, Aspiration, Lungenüberblähung mit diskr. interstit. Emphysem	57	3,6	88,5	11,8
141/72	w	6 Mon	5 Tg vor Tod 5-fach-Impfung, bis auf Darminhalt nirgends Keimnachweis	mäßiggrad. Hirnödem, deutl. Hyperämie d. weichen Hirnhäute	deutl. fleckförm. Lungenödem u. beginnende desquamative Pneumonie	68	7,5	186,2	30

Sekt.-Nr.	Geschlecht	Alter	Grundleiden	Todesursache	Lungenbefund	Körpergröße (cm)	Körpergewicht (kg)	Zwerchfellfläche (cm^2)	Zwerchfellgewicht (g)
443/72	w	1,5 J	2 Tg vor Tod intraop. Herzstillstand bei Pyelotomie	respirator. Insuffizienz bei hyalinen Membranen u. beginnende Pneumonie	ausgepr. hyaline Membranen, geringe frische Pneumonie, interstit. Emphysem in ventr. Anteilen d. re. Lunge	78	16	211	50,6
104/72	w	4 J	hämorrhag. Herdpneumonie (n. Pertussis vor 5 Wochen)	zentraler Tod	Herdpneumonie beider U.L. ger. interstit. Emphysem am M.L., ausgeprägtes Lungenödem, Tracheobronchitis	121	24	317,5	58
617/71	m	7 J	Debilitas mit Krampfanfällen	tox. Herz- und Kreisl.-Vers. u. respirator. Insuf. bei Herdpneumonie	vesikuläres Emphysem, Herdpneumonie, Tracheobronchitis, Bronchiektasen	108	27	345,7	68

Sekt.-Nr.	Geschlecht	Alter	Grundleiden	Todesursache	Lungenbefund	Körpergröße (cm)	Körpergewicht (kg)	Zwerchfellfläche (cm^2)	Zwerchfellgewic (g)
546/71	w	24 J	Schlafmittel-Vergiftung	zentraler Tod Pneumothorax	Ödem u. Hypostase Tacheobronchitis, interstit. Emphysem	166	61	574,8	158
402/72	m	25 J	Morbus Crohn	Herz- u. Kreislaufvers. bei Anämie u. Sepsis	einzelne Abszesse, deutl. Lungenödem	190	70	791,5	202
23/72	w	27 J	Verkehrsunfall	Aortenabriß	Blutungen fleckförm. bis walnußgroß	168	75	888,3	272
589/71	m	34 J	Schädelhirntrauma b. Verkehrsunfall	zentraler Tod	deutl. Ödem und Hypostase	184	82	938,2	307
354/72	m	49 J	Hirnödem u. Zeichen plötzlichen Todes, Zustand n. Bienenstich	akuter Tod, V. a. anaphylakt. Schock	deutl. Lungenödem Hypostase	172	85	997,2	243
556/71	m	50 J	Metastasierendes Ca. eines Meckelschen Divertikels	Herz- u.Kreislaufvers. bei Vena-Cava-Thrombose	geringes Ödem, mäßige Hypostase	162	77	966	318

Sekt.-Nr.	Geschlecht	Alter	Grundleiden	Todesursache	Lungenbefund	Körpergröße (cm)	Körpergewicht (kg)	Zwerchfellfläche (cm^2)	Zwerchfellgewicht (g)
124/72	w	52 J	primäre Cardiomyopathie	Herzinsuffizienz	Stauungsinduration älterer, hühnereigr. hämorrh. Infarkt re L.U.	159	49	743	107
112/72	m	66 J	obstruktives Lungenemphysem	Herzversagen b. konfluierter Herdpneumonie	hochgrad. vesikul. z.T. bullöses Lungenemphysem, chron. eitrige Bronchitis, Herdpneum. in beiden U.L.			797,2	198
614/71	m	78 J	Lungenemphysem, Arteriosklerose, Schrapnellsplitterverl. Cauda equina	Herz- u.Kreislaufvers. bei konfluierender Herdpneumonie	vesikuläres Emphysem Herdpneumonie, Tracheobronchitis, Herdpneumonie Bronchiektasen	157	57	741,7	161
383/72	m	81 J	Arteriosklerose, Carotisverschl. Hirnembolie	Herz- u.Kreislaufvers. bei Hirnerw. u. abszed. Pneum.	ausgepr. chron. subst. Lungenemphysem, Tracheobronchitis, Herdpneumonie	176	60	683,7	123
40/72	w	86 J	Colon-Ca.	Herz- u.Kreislaufvers. bei Ileus	erhebl. vesikul. Emphysem, Herdpneumonie re U.L., Tracheobronchitis, leichte Bronchiektasen	158	47	644,5	122

Tabelle 1: Wesentliche pathologisch-anatomische Befunde und Meßwerte der Zwerchfelle an 20 Obduktionen.

Umfangmessungen:

Sekt.-Nr.	Alter	Äußerer Umfang (cm)		Äußerer Umfang minus BG-Lücken (cm)		Umfang des Centrum tendineum (cm)	
21/72	Mens X	41		41		25	
38/72	8 Tage	29,5		29,5		24	
121/72	3 Mon	40		40		30	
107/72	3,5 Mon	40		40		30	
585/71	6 Mon	33	$\bar{x}$=46,67	33	$\bar{x}$=45,11	23	$\bar{x}$=32,3
141/72	6 Mon	45		45		33	
443/72	1,5 J	51		45		32	
104/72	4 J	76,5		71		47	
617/71	7 J	64		61,5		47	
546/71	24 J	74		74		70	
402/72	25 J	95		90		68	
23/72	27 J	102		102		80	
589/71	34 J	95	$\bar{x}$=95,5	82	$\bar{x}$=90,33	80	$\bar{x}$=76,
354/72	49 J	107		94		80	
556/71	50 J	100		100		83,5	
		$\bar{x}$=92,82		$\bar{x}$=88,77		$\bar{x}$=74,23	
124/72	52 J	78		78		74	
112/72	66 J	101		94		77	
614/71	78 J	95	$\bar{x}$=89,6	91	$\bar{x}$=86,9	78,5	$\bar{x}$=71
383/72	81 J	84		84		53	
40/72	86 J	90		87,5		72,5	

Tabelle 2: Äußere Umfänge und Umfänge des Centrum tendineum der 20 untersuchten Zwerchfelle
BG = Bindegewebe

3.2. Bestimmung der Dicke des Zwerchfells

Unter dem Mikroskop stellten sich die Muskelfasern im Längsschnitt als übereinander verlaufende "Bänder" dar, die in unregelmäßigen Abständen von Bindegewebsstreifen unterbrochen waren. Die Ergebnisse aus den Messungen der Mittelwerte sind in den Tabellen 3 bis 4 sowie in den Abb. 2 und 3 zusammengestellt.

Aufgrund der Messungen kann man über die Dicke der Zwerchfelle aussagen, daß es entsprechend dem makroskopischen Eindruck im muskulären Abschnitt keine regelhaften Unterschiede zwischen inneren, mittleren und äußeren Entnahmestellen hinsichtlich der Dicke der Muskulatur gibt (s. Tabelle 5).

Die statistische Überprüfung dieser Beobachtung mit dem Friedman'schen und Wilcoxon-Test ergab eine Bestätigung dieser Aussage. In Tabelle 4 sind die für die ventralen und dorsalen Entnahmestellen am äußeren Rand erhaltenen Werte aufgeführt.

Es fällt auf, daß die Dicke des muskulären Teils rechts ventral etwas größer ist als an den übrigen Entnahmestellen.

Dies kommt auch in Abb. 4 zum Ausdruck, in der die Meßwerte pro Entnahmestelle nach Größe geordnet graphisch dargestellt wurden. Dieser Unterschied war bei Überprüfung mit dem o.g. Test auf dem 5 %-Niveau signifikant; zwischen den Entnahmestellen ventral rechts und dorsal links bestand sogar eine Signifikanz auf dem 1 %-Niveau (Friedman-Test).

Ein kontinuierlicher Anstieg der Werte mit steigendem Alter ist nicht zu verzeichnen, wenn man vielmehr alle Werte für Muskulatur und Interstitium der Größe nach ordnet - wie in Abb. 2 und 3 graphisch dargestellt - so liegt beispielsweise in Abb. 3 der Wert des 86-Jährigen neben dem des 6 Monate alten Säuglings. Die Werte der Kinder sind in Abb. 3 jedoch überwiegend im unteren Teil der Kurve zu finden.

Bei den Erwachsenen über 50 Jahren sind in unserem Untersuchungsgut sowohl die Dicke des muskulären Teils als auch die Gesamtdicke des Zwerchfells geringer als bei den Erwachsenen unter 50 Jahren (s. Tabelle 3 und Abb. 2 und 3).

Wie auch Abb. 2 zeigt, in der die Werte für Kinder und Erwachsene getrennt gezeichnet wurden, befinden sich die Werte der älteren Erwachsenen z. B. vorwiegend im unteren Teil der Kurve. Eine statistische Überprüfung mit dem Wilcoxon-Test ergab eine Bestätigung dieser Aussage auf dem 5 %-Niveau. Die Kurve der Kinder (Abb. 2 A) zeigt hingegen, daß die Werte der jüngeren Kinder im unteren Teil der Kurve lagen und die der älteren im oberen Teil.

Um festzustellen, ob bei Gesunden und Kranken unterschiedliche Werte vorlagen, wurden die Werte von plötzlich verstorbenen, sonst gesunden Personen mit denen nach längeren Leiden verstorbenen verglichen. Todesursachen der ersten Gruppe waren: Vergiftung, Schock, zwei Verkehrsunfälle.

Die Untersuchungen wurden mit dem Wilcoxon-Test durchgeführt.
Ergebnis: Die Dicke des muskulären Teils war bei den nach längeren Leiden verstorbenen Patienten auf dem 5 %-Niveau signifikant geringer als bei den plötzlich verstorbenen, wobei allerdings berücksichtigt werden muß, daß die erstere Gruppe vorwiegend aus Patienten über 50 Jahren bestand.

In der nachfolgenden statistischen Untersuchung wurden die Erwachsenen in zwei Gruppen eingeteilt, wobei die Männer der einen, die Frauen der anderen Gruppe angehörten. Die Überprüfung auf statistisch nachweisbare Unterschiede wurde mit dem Wilcoxon-Test vorgenommen. Es ließ sich jedoch bezüglich der Zwerchfelldicke kein signifikanter Geschlechtsunterschied nachweisen.

Sekt.-Nr.	Alter	Dicke der Muskulatur (mm)		Gesamtdicke (mm)	
21/72	Mens X	1,08		1,58	
38/72	8 Tage	1,08		1,77	
121/72	3 Mon	1,40		1,99	
107/72	3,5 Mon	1,36		2,09	
585/71	6 Mon	1,29	$\bar{x} = 1,42$	1,81	$\bar{x} = 2,17$
141/72	6 Mon	1,50		2,19	
443/72	1,5 J	1,82		3,10	
104/72	4 J	1,51		2,30	
617/71	7 J	1,74		2,74	
546/71	24 J	2,01		3,45	
402/72	25 J	1,70		2,88	
23/72	27 J	2,62	$\bar{x} = 2,11$	3,83	$\bar{x} = 3,28$
589/71	34 J	2,84		4,35	
354/72	49 J	1,55		2,00	
556/71	50 J	1,91		3,20	
			$\bar{x} = 1,75$		$\bar{x} = 2,76$
124/72	52 J	1,06		1,54	
112/72	66 J	1,70		2,94	
614/71	78 J	1,66	$\bar{x} = 1,32$	2,57	$\bar{x} = 2,13$
383/72	81 J	1,02		1,44	
40/72	86 J	1,17		2,17	

Tabelle 3: Dicke der Muskulatur und Gesamtdicke der untersuchten Zwerchfelle

Sekt.-Nr.	Alter	ventral links		ventral rechts		dorsal rechts		dorsal links	
21/72	Mens X	0,89		1,36		1,42		0,66	
38/72	8 Tage	0,68		1,41		1,14		1,10	
121/72	3 Mon	1,33		1,79		1,42		1,07	
107/72	3,5 Mon	1,44		1,54		1,57		0,88	
585/71	6 Mon	1,41	$\bar{x}$=1,35	1,79	$\bar{x}$ =1,76	1,90	$\bar{x}$=1,55	0,69	$\bar{x}$=1,09
141/72	6 Mon	1,55		2,20		1,53		0,70	
443/72	1,5 J	1,89		1,54		1,60		2,23	
104/72	4 J	1,17		1,83		1,69		1,33	
617/71	7 J	1,77		2,35		1,72		1,13	
546/71	24 J	1,98		2,92		1,60		1,55	
402/72	25 J	2,03		-		0,90		1,68	
23/72	27 J	1,72		2,46		3,09		3,21	
589/71	34 J	2,71	$\bar{x}$=2,07	3,24	$\bar{x}$=2,36	2,40	$\bar{x}$=1,89	2,99	$\bar{x}$=2,12
354/72	49 J	2,17		0,94		1,33		1,76	
556/71	50 J	1,82		2,24		2,02		1,55	
			$\bar{x}$=1,67		$\bar{x}$=2,01		$\bar{x}$=1,56		$\bar{x}$=1,70
124/72	52 J	1,45		0,93		0,93		0,93	
112/72	66 J	1,47		2,57		1,26		1,48	
614/71	78 J	1,45	$\bar{x}$=1,26	2,01	$\bar{x}$=1,66	1,38	$\bar{x}$=1,17	1,79	$\bar{x}$=1,2
383/72	81 J	0,84		1,21		1,01		1,04	
40/72	86 J	1,08		1,58		1,25		0,76	
		$\bar{x}_s$ = 1,56		$\bar{x}_s$ = 1,93		$\bar{x}_s$ = 1,54		$\bar{x}_s$ = 1,47	

Tabelle 4: Muskuläre Zwerchfelldicke in mm am äußeren Zwerchfellrand. $\bar{x}_s$ = arithmetisches Mittel der Mittelwerte $\bar{x}$.

Sekt.-Nr.	Alter	außen	Mitte	innen	Gesamt	
443/72	1,5 J	1,89	2,10	2,02	2,00	ventr.
		1,54	1,38	1,94	1,62	ventr.
		1,60	-	2,72	2,16	dors.r
		2,23	2,27	3,42	2,64	dors.l
		$\bar{x}$=1,82	$\bar{x}$=1,92	$\bar{x}$=2,53	$\bar{x}$=2,11	
402/72	25 J	2,03	1,33	-	1,68	ventr.
		-	0,97	0,95	0,96	ventr.
		0,90	1,40	1,18	1,16	dors.re
		1,68	3,40	2,20	2,43	dors.li
		$\bar{x}$=1,54	$\bar{x}$=1,78	$\bar{x}$=1,44	$\bar{x}$=1,56	
354/72	49 J	2,17	1,99	-	2,08	ventr.l
		0,94	1,40	1,10	1,15	ventr.r
		1,33	1,23	1,59	1,38	dors.re
		1,76	2,39	2,59	2,25	dors.li
		$\bar{x}$=1,55	$\bar{x}$=1,75	$\bar{x}$=1,76	$\bar{x}$=1,72	
383/72	81 J	0,84	1,68	1,66	1,39	ventr.l
		1,21	3,05	0,96	1,74	ventr.r
		1,01	1,07	1,74	1,27	dors.re
		1,04	1,91	1,41	1,45	dors.li
		$\bar{x}$=1,03	$\bar{x}$=1,93	$\bar{x}$=1,44	$\bar{x}$=1,46	

Tabelle 5: Zwerchfelldicke in mm im Bereich der inneren, mittleren und äußeren Entnahmestellen

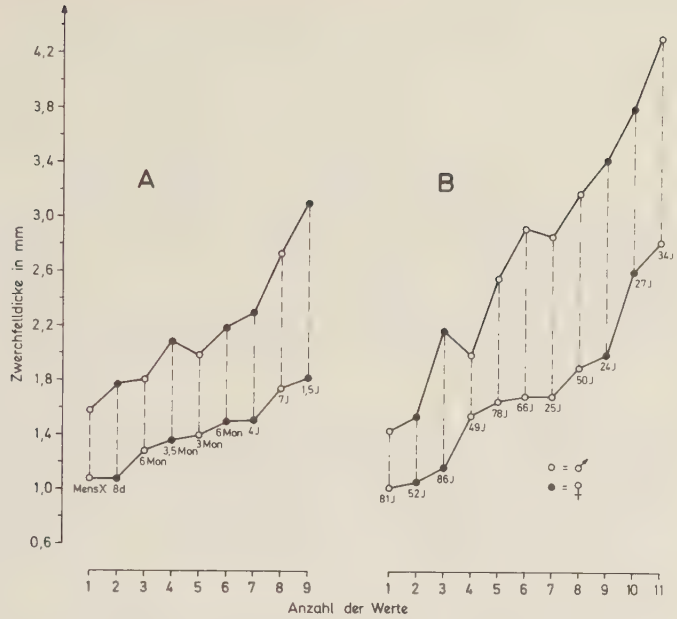

Abb.2: Dicke der Muskulatur und Gesamtzwerchfelldicke. Muskeldicke nach Größe geordnet mit dazugehöriger Gesamtdicke bei Kindern (A) und Erwachsenen (B).

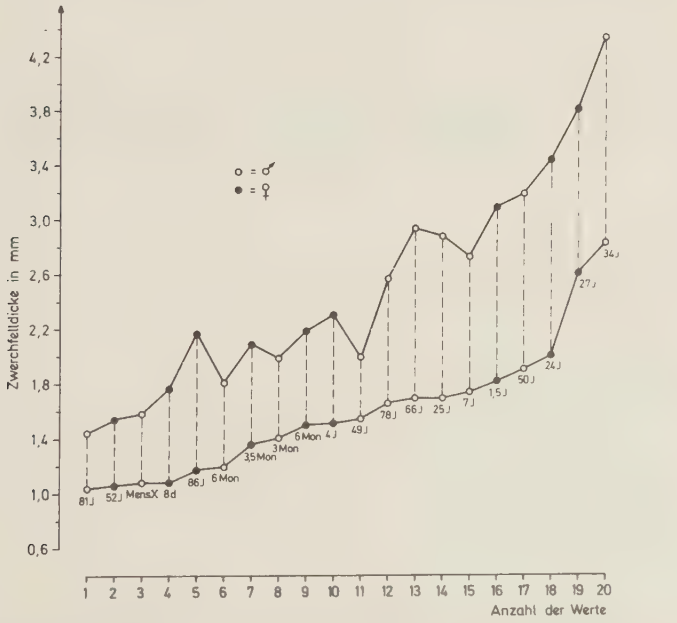

Abb.3: Dicke der Muskulatur und Gesamtzwerchfelldicke. Muskeldicke nach Größe geordnet mit dazugehöriger Gesamtdicke bei Kindern und Erwachsenen.

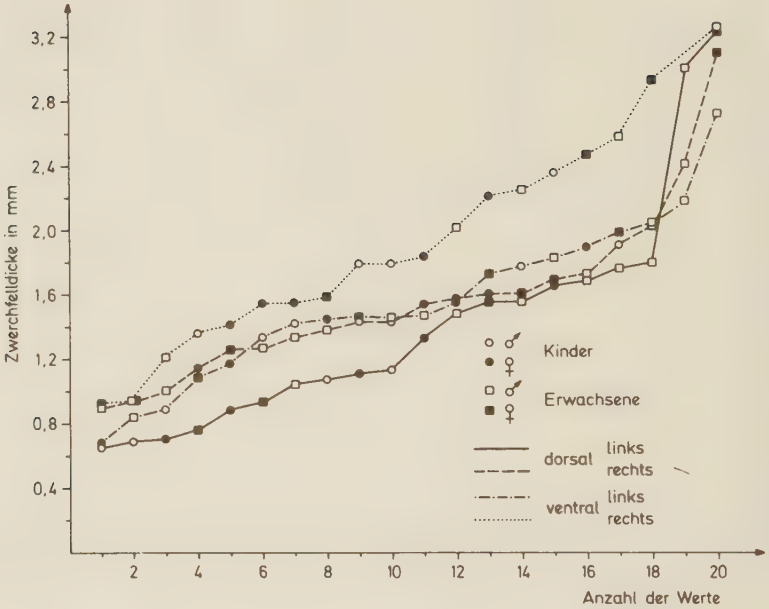

Abb. 4: Dicke der Muskulatur an den Entnahmestellen am äußeren Rand des Zwerchfells (ventral re, li und dorsal re,li bei Erwachsenen und Kindern. Die Werte sind pro Entnahmestelle nach Größe geordnet aufgezeichnet.

3.3. Bestimmung des Interstitiums

Schon bei der mikroskopischen Betrachtung der einzelnen Präparate fiel sowohl beim Vergleich der Zwerchfelle untereinander als auch beim Vergleich der einzelnen Präparate pro Zwerchfell ein sehr unterschiedlicher Bindegewebsgehalt auf.

Um diesen Bindegewebsgehalt, aber auch die zum Interstitium gehörenden Gefäße und Nerven genauer zu erfassen, wurde bei der vorliegenden Untersuchung in bereits beschriebener Weise das gesamte Interstitium, d. h. Bindegewebe, Gefäße und Nerven in %, sowie der prozentuale Anteil des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel mit geringstem Bindegewebsgehalt bestimmt.

Die Untersuchungen wurden jeweils bei vier Zwerchfellen an je 36 Querschnittspräparaten pro Zwerchfell (Bestimmung des Interstitiums innen, mitte, außen) und bei 16 Zwerchfellen an je 16 Querschnittspräparaten pro Zwerchfell (Bestimmung des Interstitiums am äußeren Rand) durchgeführt.

Regelhafte Unterschiede innerhalb der Entnahmestellen pro Zwerchfell waren weder beim Gesamtinterstitium noch beim Interstitium innerhalb der Faserbündel zu erkennen. Die Meßwerte für die Entnahmestellen am äußeren Rand des Zwerchfells sind in den Tabellen 6 (Gesamtinterstitium) und 8 (Interstitium im Bereich der Muskelfaserbündel) aufgeführt. Die prozentualen Werte des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel schwanken innerhalb eines Zwerchfells relativ stark, z.B. bei Kindern zwischen 2,5 % und 11 % bzw. 0,5 % und 3,5 %, bei Erwachsenen zwischen 7,5 und 13 % bzw. 0,5 % und 2 % an den äußeren Entnahmestellen im Bereich der Faserbündel (s. Tab. 6). Das

Gesamtinterstitium zeigte innerhalb eines Zwerchfells an den Entnahmestellen des äußeren Randes Schwankungen zwischen 29 % und 47 % bzw. 33 % und 36 % bei Kindern sowie zwischen 26 % und 49 % bzw. 22 % und 23 % bei Erwachsenen (s. Tab. 8). Ein statistisch zu sichernder Unterschied innerhalb der verschiedenen Entnahmestellen lag weder im Bereich der Muskelfaserbündel noch beim Gesamtinterstitium vor. Ähnlichen Schwankungen unterlag der prozentuale Anteil des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel sowie des Gesamtinterstitiums an den Entnahmestellen außen, in der Mitte und innen, wie aus den Tabellen 7 und 9 zu entnehmen ist. Diese Aussage wird durch die Abb. 5 und 6 bestätigt. In Abb. 5 wurden die Werte des Gesamtinterstitiums an den Entnahmestellen innen, in der Mitte und außen bei 4 Zwerchfellen pro Entnahmestelle nach Größe geordnet in ein Koordinatensystem eingetragen, in Abb. 6 sind die Werte des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel graphisch dargestellt. Eine statistische Signifikanz bezüglich regionaler Unterschiede in der Quantität des Zwerchfellbindegewebes bestand auch hier nicht.

Der Anteil des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel in den Entnahmestellen am äußeren Rand des Zwerchfells lag zwischen 0,5 % und 11 % bei Kindern und zwischen 0,5 % und 22 % bei Erwachsenen. Ein statistisch gesicherter Unterschied hinsichtlich des Interstitiums zwischen Erwachsenen und Kindern bestand nicht. Der Gesamtanteil des Interstitiums (Tab. 8) schwankte in diesen Regionen bei Kindern zwischen 26 % und 44 % und bei Erwachsenen zwischen 22 % und 55 %. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Kindern und Erwachsenen war nicht nachweisbar.

Auch ein getrennter Vergleich der Kinder mit den Erwachsenen unter 50 Jahren und den Erwachsenen über 50 Jahren, sowie ein Vergleich der Erwachsenengruppen ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich des Gesamtinterstitiums und des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel zwischen den einzelnen Gruppen.

Ein statistisch nachweisbarer Geschlechtsunterschied lag ebenfalls nicht vor.

Bei den relativ schnell verstorbenen Patienten und bei Patienten mit dem Tod vorausgegangenen längeren chronischen Leiden bestand weder hinsichtlich des Gesamtinterstitiums noch des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel ein signifikanter Unterschied.

Sekt.-Nr.	Alter	ventral links	ventral rechts	dorsal rechts	dorsal links	Gesamt
21/72	Mens X	7,5	2,5	5	11	6,5
38/72	8 Tage	10,5	5	3	4	5,63
121/72	3 Mon	2	4,5	3	2	2,88
107/72	3,5Mon	2,5	1,5	2	6,5	3,13
		$\bar{x}$=4,83	$\bar{x}$=4,11	$\bar{x}$=3,16	$\bar{x}$=4,78	$\bar{x}$=4,21
585/71	6 Mon	3	1,5	0,5	3,5	2,13
141/72	6 Mon,	2	5,5	1,5	2,5	2,88
443/72	1,5 J	9,5	5	8	5	6,88
104/72	4 J	1,5	3,5	2,5	1	2,13
617/71	7 J	5	8	3	7,5	5,88
546/71	24 J	2	2	1,5	0,5	1,5
402/72	25 J	3	9	13	2	6,75
23/72	27 J	6	10,5	2	6,5	6,25
		$\bar{x}$=5,33	$\bar{x}$=5,33	$\bar{x}$=4,67	$\bar{x}$=3,33	$\bar{x}$=5,89
589/71	34 J	1	1	2,5	0,5	1,25
354/72	49 J	2,5	3	0,5	0,5	1,63
556/71	50 J	17,5	16,5	8,5	10	13,13
		$\bar{x}$=5,45	$\bar{x}$=6,91	$\bar{x}$=5,69	$\bar{x}$=4,5	$\bar{x}$=6,00
124/72	52 J	2	4,5	1	1	2,13
112/72	66 J	5,5	6	7	8,5	6,75
614/71	78 J	8,5 $\bar{x}$=5,6	8,5 $\bar{x}$=8,8	6 $\bar{x}$=6,9	6,5 $\bar{x}$=7	7,38 $\bar{x}$=7,3
383/72	81 J	0,5	1,5	1,0	1,5	1,13
40/72	86 J	11,5	23,5	19,5	22	19,13

Tabelle 6: Prozentualer Anteil des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel am äußeren Zwerchfellrand

Sekt.-Nr.	Alter	außen	Mitte	innen	Gesamt	
443/72	1,5 J	9,5	3	4	5,5	ventr.li.
		5	7	2,5	4,83	ventr.re.
		8	12,5	1	7,17	dors.re.
		5	2	1	2,67	dors.li.
		$\bar{x}$= 6,88	$\bar{x}$= 6,13	$\bar{x}$= 2,13	$\bar{x}$= 5,04	
402/72	25 J	3	1,5	8,5	4,33	ventr.li.
		9	1,5	5,5	5,33	ventr.re.
		13	3,5	2,5	6,33	dors.re.
		2	1,5	3	2,17	dors.li.
		$\bar{x}$= 6,75	$\bar{x}$= 2	$\bar{x}$= 4,88	$\bar{x}$= 4,54	
354/72	49 J	2,5	1,5	2,5	2,17	ventr.li.
		3	3	1,5	2,5	ventr.re.
		0,5	1	1,5	1	dors.re.
		0,5	0,5	1	0,67	dors.li.
		$\bar{x}$= 1,63	$\bar{x}$= 1,5	$\bar{x}$= 1,63	$\bar{x}$= 1,59	
383/72	81 J	0,5	1	2,5	1,33	ventr.li.
		1,5	2,5	2,5	1,63	ventr.re.
		1	2,5	3	1,63	dors.re.
		1,5	2,5	1	1,67	dors.li.
		$\bar{x}$= 1,13	$\bar{x}$= 2,13	$\bar{x}$= 2,25	$\bar{x}$= 1,57	

Tabelle 7: Prozentualer Anteil des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel an inneren, mittleren und äußeren Entnahmestellen

Sekt.-Nr.	Alter	ventral links	ventral rechts	dorsal links	dorsal rechts	Gesamt
21/72	Mens X	27,67	32	33,67	32,67	31,50
38/72	8 Tage	39,67	41,67	43,00	32	39,09
121/72	3 Mon	31	29	25,67	32,67	29,59
107/72	3,5 Mon	35,67	37,33	31	36,33	35,08
585/71	6 Mon	29,33	27	30,67	28,67	28,92
141/72	6 Mon	29,67	41,67	26	28,67	31,50
443/72	1,5 J	44,33	42,33	41,67	36,67	41,25
104/72	4 J	33,67	36,33	33	34,67	34,42
617/71	7 J	37	37,67	38	33,33	36,5
		$\bar{x}$= 34,22	$\bar{x}$= 36,11	$\bar{x}$= 33,63	$\bar{x}$= 32,86	$\bar{x}$= 34,2
546/71	24 J	46,33	49,33	26	45,33	41,75
402/72	25 J	35,00	35,67	38,33	55,33	41,08
23/72	27 J	34,67	36,33	29,67	25,67	31,59
589/71	34 J	29	33,33	46	31	34,83
354/72	49 J	23	22	22	22,33	22,33
556/71	50 J	38,33	39,33	42	41,33	40,25
		$\bar{x}$= 34,39	$\bar{x}$= 36,0	$\bar{x}$= 34,0	$\bar{x}$= 36,83	$\bar{x}$= 35,2
124/72	52 J	34,67	31	25,67	32,67	31,00
112/72	66 J	55,33	34,67	36,67	41,67	42,09
614/71	78 J	35,67	45,33	29,67	31	35,42
383/72	81 J	31,33	21,33	36,00	28,67	29,33
40/72	86 J	45,33	46	41	52	46,08
		$\bar{x}$= 40,47	$\bar{x}$= 35,67	$\bar{x}$= 33,86	$\bar{x}$= 37,2	$\bar{x}$= 36,78
		$\bar{x}_s$ = 36,36	$\bar{x}_s$ = 35,93	$\bar{x}_s$= 33,81	$\bar{x}_s$=35,63	$\bar{x}_s$=35,3

Tabelle 8: Prozentualer Anteil des gesamten Interstitiums an äußeren Entnahmestellen. $\bar{x}_s$ = Mittelwerte des Interstitiums aller Erwachsenen.

Sekt.-Nr.	Alter	innen	Mitte	außen	D_{ges}	
443/72	1,5 J	40	50	44,33	44,77	ventr.li.
		32,33	50,67	42,33	41,78	ventr.re.
		35,33	48,33	41,67	41,78	dors.re.
		36,67	35,67	36,67	36,34	dors.li.
		$\bar{x}$= 36,08	$\bar{x}$=46,16	$\bar{x}$=41,25	$\bar{x}$=41,16	
402/72	25 J	43,33	28,67	35,00	35,66	ventr.li.
		39,33	32,00	35,67	35,67	ventr.re.
		32,00	31,67	38,33	34,00	dors.re.
		31,67	28,67	55,33	38,56	dors.li.
		$\bar{x}$= 36,58	$\bar{x}$=30,25	$\bar{x}$=41,08	$\bar{x}$=35,97	
354/72	49 J	23,67	24,00	23,00	23,56	ventr.li.
		24,67	26,67	22,00	25,11	ventr.re.
		21,00	25,67	22,00	22,89	dors.re.
		22,67	20,67	22,33	21,89	dors.li.
		$\bar{x}$= 23,00	$\bar{x}$=24,25	$\bar{x}$=22,33	$\bar{x}$=23,36	
383/72	81 J	32,33	33,66	31,33	32,44	ventr.li.
		48,33	47,33	21,33	39,00	ventr.re.
		49,67	38,00	36,00	41,22	dors.re.
		35,67	45,67	28,67	36,67	dors.li.
		$\bar{x}$= 41,50	$\bar{x}$=41,17	$\bar{x}$=29,33	$\bar{x}$=37,33	

Tabelle 9: Prozentualer Anteil des gesamten Interstitiums im Bereich der Entnahmestellen innen, Mitte, außen

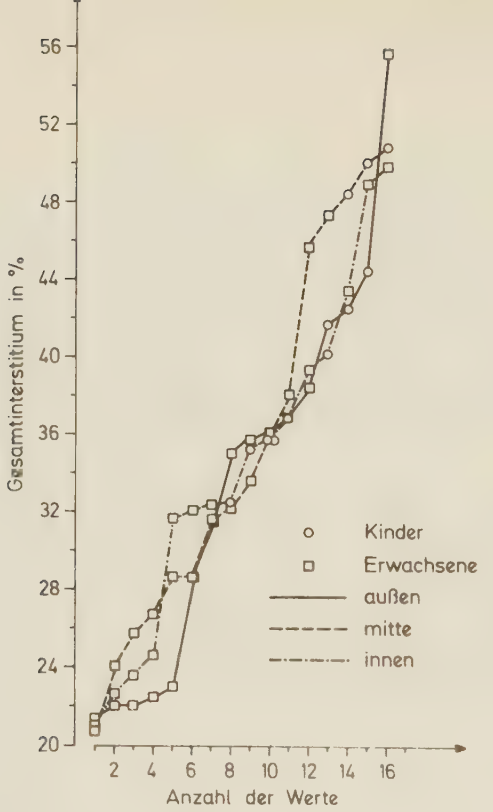

Abb. 5:
Prozentualer Anteil des Gesamtinterstitiums an den Entnahmestellen innen, Mitte, außen bei 4 Zwerchfellen. Die Werte sind pro Entnahmestelle nach Größe geordnet aufgezeichnet.

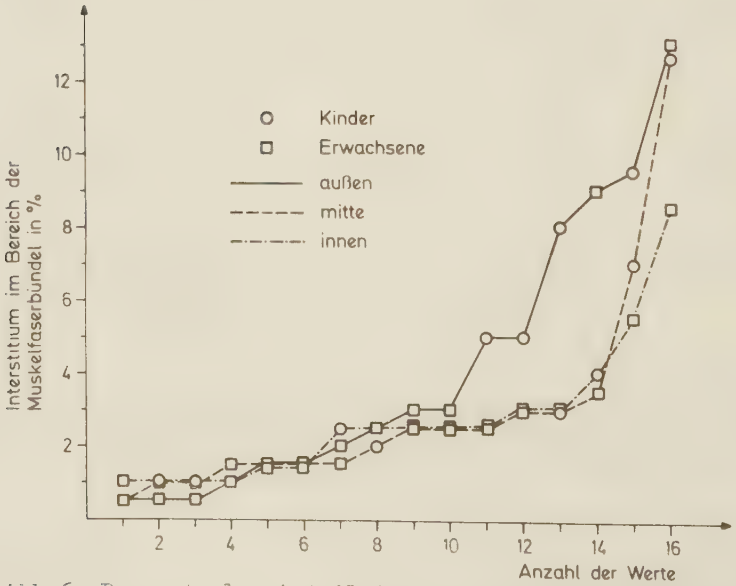

Abb.6: Prozentualer Anteil des Interstitiums innerhalb der Muskelfaserbündel an den Entnahmestellen innen, Mitte, außen von 4 Zwerchfellen. Die Werte sind nach Größe geordnet aufgezeichnet.

3.4. Bestimmung der Muskelfaserquerschnittsflächen

Betrachtung der Präparate unter dem Mikroskop:
Die Muskelfasern zeigten unter dem Mikroskop im Querschnitt eine polygonale Form. Innerhalb der Muskelfaserbündel lag eine relativ geringe Schwankungsbreite der Faserdurchmesser vor. Hin und wieder waren sehr kleine Faserquerschnitte zu sehen, dagegen traten andernorts vereinzelt deutlich größere, nahezu kreisrunde Faserquerschnitte auf, und zwar vor allem bei den Erwachsenen über 50 Jahren.

Im Mikroskop waren für das bloße Auge keine Unterschiede in der Größe der Muskelfaserquerschnittsflächen im Bereich der Entnahmestellen innen, Mitte und außen zu erkennen. Die Mittelwerte aus den Messungen sind in Tab. 11 aufgeführt. Ein Vergleich der gemessenen mittleren Querschnittsflächen pro Entnahmestelle ergab jedoch, daß in der Mehrzahl der Fälle die Faserquerschnittsflächen der mittleren Entnahmestellen am geringsten waren, die der äußeren am größten. Dies ist auch aus Abb. 13 zu erkennen, in der die mittleren Muskelfaserquerschnitte von 4 Zwerchfellen an den inneren, mittleren und äußeren Entnahmestellen pro Entnahmestelle nach Größe geordnet abgebildet sind.

Die statistische Überprüfung mit dem Friedman- und dem Wilcoxon-Test ergab einen signifikanten Unterschied auf dem 5 %-Niveau zwischen äußeren und mittleren Entnahmestellen. Um zu vergleichen, inwieweit sich die mittleren Querschnittsflächen der einzelnen Individuen voneinander unterscheiden - z. B. in bezug auf Alter und Ernährungszustand - wurden bei weiteren 16 Zwerchfellen die mittleren Faserquerschnittsflächen an jeweils 4 Entnahmestellen

pro Zwerchfell in bereits beschriebener Weise bestimmt. Die Meßwerte an den äußeren Entnahmestellen sind der Tabelle 10 zu entnehmen.Ein Vergleich der Werte ergab, daß zwischen der Größe der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen an den 4 Entnahmestellen am äußeren Rand kein statistisch signifikanter Unterschied bestand.

In Abb. 12 sind die mittleren Muskelfaserquerschnitte der 20 Zwerchfelle an diesen Entnahmestellen - pro Entnahmestelle nach Größe geordnet - graphisch dargestellt. Aus der Anordnung der Kurven ergibt sich ebenfalls kein Unterschied zwischen den einzelnen Entnahmestellen. Die Werte der Kinder befinden sich überwiegend im unteren Teil der Kurven.

Mit steigendem Alter nehmen die mittleren Faserquerschnittsflächen bei Kindern kontinuierlich zu. Bei den Erwachsenen weisen die Personen im Alter von 23 bis ca. 35 Jahren den größten Faserquerschnitt auf, während die Querschnittsflächen bei älteren Individuen über 50 Jahren wieder geringfügig abnehmen (s. Tabelle 12).

Die mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen waren bei Erwachsenen unter 50 Jahren auf dem 5 %-Niveau (Wilcoxon-Test) signifikant größer als bei Erwachsenen über 50 Jahren.

In den Abb. 7 - 11 sind die prozentualen Häufigkeitsverteilungen der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen bei den verschiedenen Gruppen der Kinder und Erwachsenen aufgeführt.

Dabei zeigt das Histogramm der Kinder (Abb. 7) im Vergleich zu den Häufigkeitsverteilungen der beiden Erwachsenengruppen (Abb. 8 und 9) über (Abb. 9) und unter

(Abb. 8) 50 Jahren eine schmalere Basis und deutlicheren Gipfel. Die Verteilung der ersten Erwachsenengruppe (unter 50 Jahren) verläuft breitbasig und ohne deutlichen Gipfel, sondern mehr plateauähnlich, während das Histogramm der Erwachsenen über 50 Jahren (zweite Gruppe) einen deutlichen Gipfel und eine schmalere Basis aufweist als die erste Gruppe.

Die prozentuale Häufigkeitsverteilung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen aller Erwachsenen, dargestellt in Abb. 10, zeigt bei im Vergleich zu den Kindern breiterer Basis einen deutlichen Gipfel.

In Abb. 11, in der die prozentualen Häufigkeitsverteilungen der Muskelfaserquerschnittsflächen aller untersuchten Zwerchfelle dargestellt sind, stellt sich ein doppelgipfliger Verlauf dar, wobei der erste, höherere Gipfel durch die Werte der Kinder, der zweite durch die Werte der Erwachsenen gebildet wird.

Beim Vergleich von plötzlich und nach längeren Leiden Verstorbenen hatten die ersteren auf dem 5 %-Niveau deutlich größere Muskelfaserquerschnittsflächen (Wilcoxon-Test). Ein Geschlechtsunterschied hinsichtlich der Größe der Muskelfaserquerschnittsflächen war statistisch nicht zu sichern.

Von den mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen wurde dann der prozentuale Anteil des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel subtrahiert. Die dadurch erhaltenen korrigierten Werte sind in Tab. 12 aufgeführt.

Sekt.-Nr.	Alter	ventral links	ventral rechts	dorsal rechts	dorsal links
21/72	Mens X	3,24	3,34	3,53	3,06
38/72	8 Tage	2,31	2,38	2,27	2,34
121/72	3 Mon	4,26	3,50	4,03	4,31
107/72	3,5 Mon	3,16	2,57	3,44	2,39
585/71	6 Mon	3,59	3,41	4,17	3,59
141/72	6 Mon	3,49	3,49	3,54	2,71
443/72	1,5 J	7,95	6,89	6,33	9,02
104/72	4 J	4,40	4,13	3,39	3,62
617/71	7 J	5,19	4,47	5,42	4,90
		$\bar{x}$ = 4,13	$\bar{x}$ = 3,79	$\bar{x}$ = 4,00	$\bar{x}$ = 3,99
546/71	24 J	10,54	8,86	7,14	7,94
402/72	25 J	9,03	10,44	12,57	7,58
23/72	27 J	15,11	13,14	14,68	16,72
589/71	34 J	13,48	16,78	17,36	15,18
354/72	49 J	17,16	10,70	10,57	13,85
556/71	50 J	13,92	15,43	13,22	9,71
		$\bar{x}$ = 13,2	$\bar{x}$ = 12,56	$\bar{x}$ = 12,59	$\bar{x}$ = 11,83
124/72	52 J	9,47	9,40	10,66	7,97
112/72	66 J	11,25	9,41	12,40	9,24
614/71	78 J	11,58	8,13	9,43	9,09
383/72	81 J	-	11,94	8,91	-
40/72	86 J	9,74	11,01	8,87	14,23
		$\bar{x}$ = 10,51	$\bar{x}$ = 9,98	$\bar{x}$ = 10,05	$\bar{x}$ = 10,13
		$\bar{x}_S$ = 9,28	$\bar{x}_S$ = 8,78	$\bar{x}_S$ = 8,01	$\bar{x}_S$ = 8,65

Tabelle 10: Muskelfaserquerschnittsflächen ($cm^2 \times 10^{-6}$) an den äußeren Entnahmestellen. $\bar{x}_S$ = arithmetisches Mittel der Mittelwerte $\bar{x}$.

Sekt.-Nr.	Alter	innen	Mitte	außen	
443/72	1,5 J	5,32	5,04	7,95	ventr.li.
		5,12	5,74	6,89	ventr.re.
		5,77	5,71	6,33	dors.re.
		5,65	5,84	9,02	dors.li.
		$\bar{x}$ = 5,46	$\bar{x}$ = 5,58	$\bar{x}$ = 7,55	
402/72	25 J	10,84	7,08	9,03	ventr.li.
		9,58	8,56	10,44	ventr.re.
		10,60	8,15	12,57	dors.re.
		7,15	8,61	7,58	dors.li.
		$\bar{x}$ = 9,5	$\bar{x}$ = 8,1	$\bar{x}$ = 9,9	
354/72	49 J	17,52	15,57	17,16	ventr.li.
		9,76	10,43	10,70	ventr.re.
		12,97	12,29	10,57	dors.re.
		12,56	11,53	13,85	dors.li.
		$\bar{x}$ = 13,2	$\bar{x}$ = 12,45	$\bar{x}$ = 13,07	
383/72	81 J	5,89	5,08	-	ventr.li.
		8,18	-	11,94	ventr.re.
		9,36	7,78	8,91	dors.re.
		6,08	4,32	-	dors.li.
		$\bar{x}$ = 7,38	$\bar{x}$ = 5,73	$\bar{x}$ =10,42	
		$\bar{x}_S$= 8,88	$\bar{x}_S$= 7,96	$\bar{x}_S$=10,22	

Tabelle 11: Muskelfaserquerschnittsflächen im Bereich der Entnahmestellen innen, Mitte, außen ($cm^2 \times 10^{-6}$) ($\bar{x}_S$ = arithmetisches Mittel der Mittelwerte $\bar{x}$).

Sekt.-Nr.	Alter	unkorrigiert		korrigiert		Faserdurchmesser errechnet (µ)
21/72	Mens X	3,29		3,o8		19,8
38/72	8 Tage	2,32		2,19		16,7
121/72	3 Mon	4,o2		3,9		22,3
1o7/72	3,5 Mon	2,89		2,8		18,9
585/71	6 Mon	3,69	$\bar{x}$ = 3,85	3,61	$\bar{x}$ = 3,69	21,4
141/72	6 Mon	3,31		3,21		2o,2
443/72	1,5 J	6,2o		5,9		27,4
1o4/72	4 J	3,89		3,81		22,o
617/71	7 J	5,o		4,71		24,5
546/71	24 J	8,62		8,49		32,9
4o2/72	25 J	8,99		8,59		33,1
23/72	27 J	14,91		13,98		42,2
			$\bar{x}$ = 12,37		$\bar{x}$=11,75	
589/71	34 J	15,7o		15,37		44,2
354/72	49 J	12,91		12,7		4o,2
556/71	5o J	13,o7		11,35		38,o
			$\bar{x}$ =11,89		$\bar{x}$ =1o,4o	
124/72	52 J	9,29		9,o9		34,o
112/72	66 J	1o,58		9,87		35,4
614/71	78 J	9,56	$\bar{x}$ = 9,55	8,85	$\bar{x}$ = 8,78	33,6
383/72	81 J	7,36		7,24		3o,4
4o/72	86 J	1o,96		8,86		33,6

Tabelle 12: Mittlere Muskelfaserquerschnittsflächen ($cm^2 \times 10^{-6}$) ohne und mit Berücksichtigung des Bindegewebsanteils (Gesamtmittelwerte)

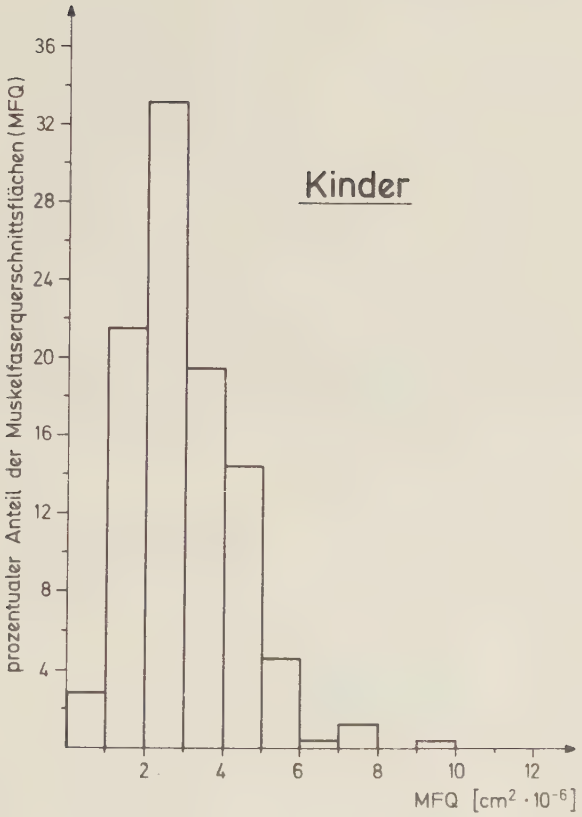

Abb. 7:
Mittlere Muskelfaserquerschnittsflächen der einzelnen planimetrierten Faserbündel aus den untersuchten kindlichen Zwerchfellen in relativer Häufigkeitsverteilung.

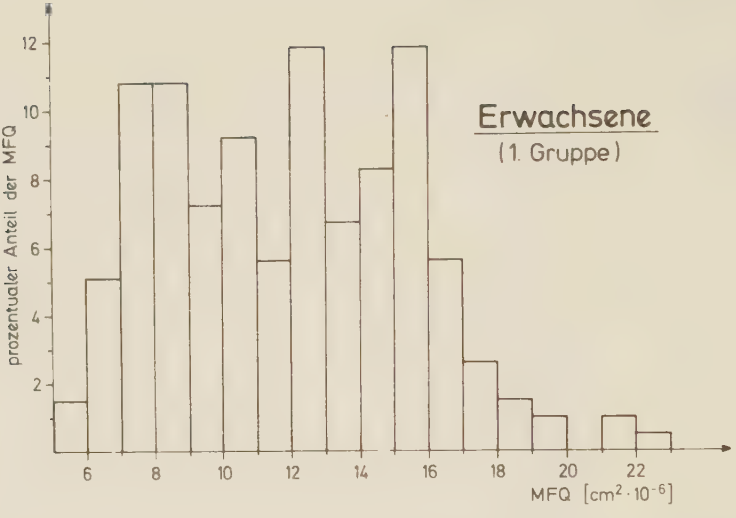

Abb. 8: Relative Häufigkeitsverteilung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen aller einzelnen planimetrierten Faserbündel der Zwerchfelle von Erwachsenen unter 50 Jahren (1. Gruppe).

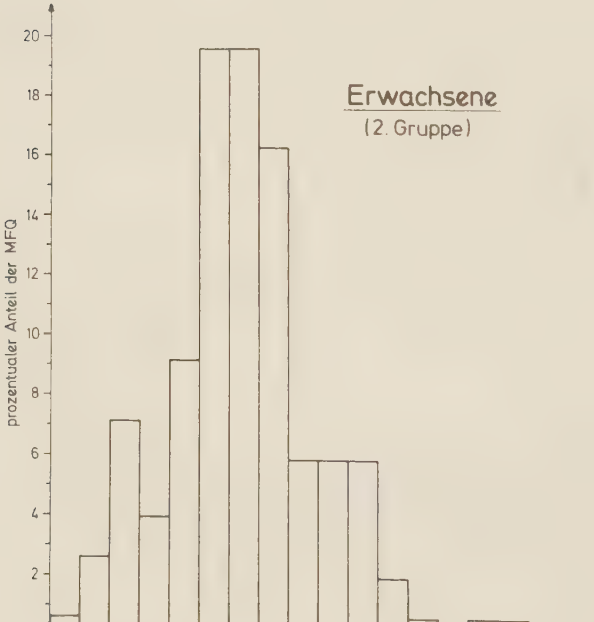

Abb. 9: Relative Häufigkeitsverteilung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen aller einzelnen planimetrierten Faserbündel der Zwerchfelle von Erwachsenen über 50 Jahren (2. Gruppe).

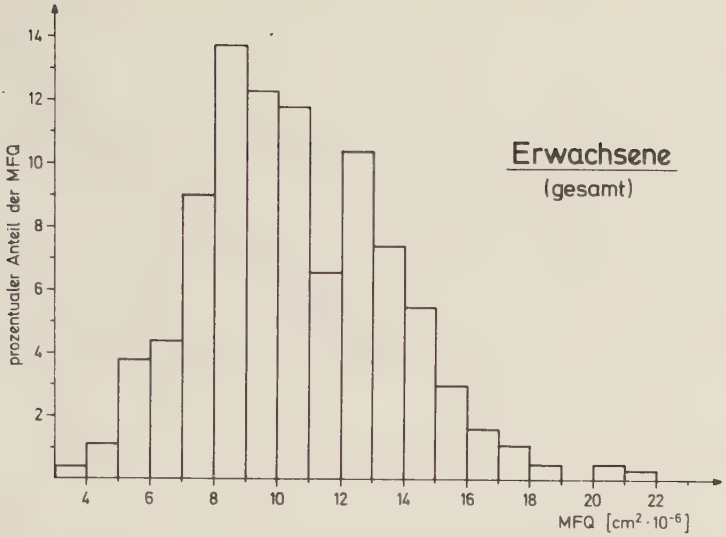

Abb. 10: Relative Häufigkeitsverteilung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen aus den einzelnen planimetrierten Faserbündeln aller Erwachsenenzwerchfelle.

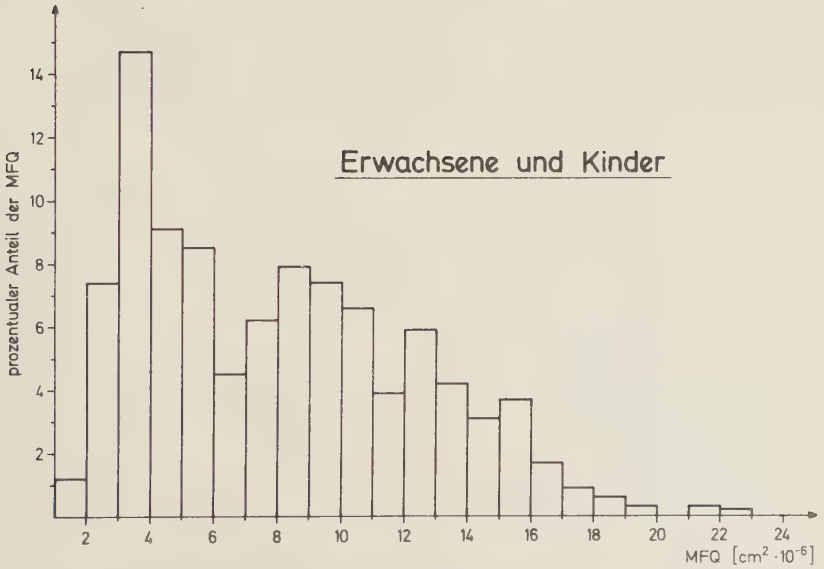

Abb. 11: Relative Häufigkeitsverteilung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen aus den einzelnen planimetrierten Faserbündeln aller untersuchten Zwerchfelle.

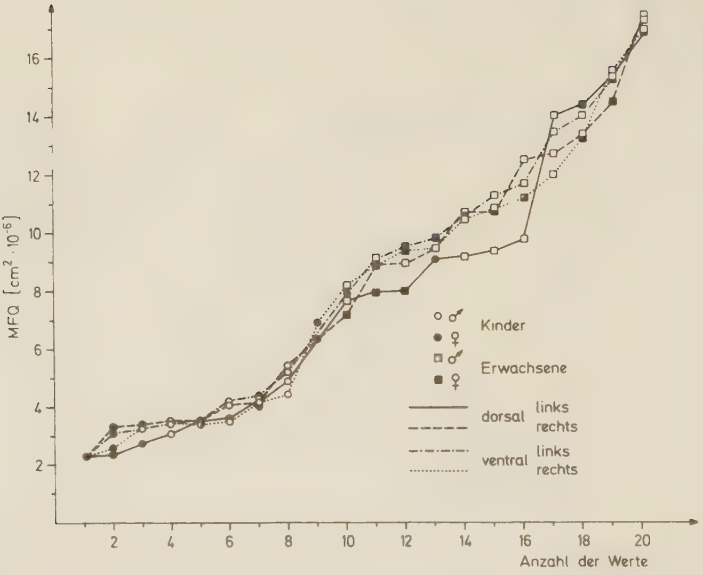

Abb. 12: Mittlere Muskelfaserquerschnittsflächen an den Entnahmestellen am äußeren Rand des Zwerchfells (ventral li, re und dorsal li, re) bei Erwachsenen und Kindern. Die Werte sind pro Entnahmestelle nach Größe geordnet aufgezeichnet.

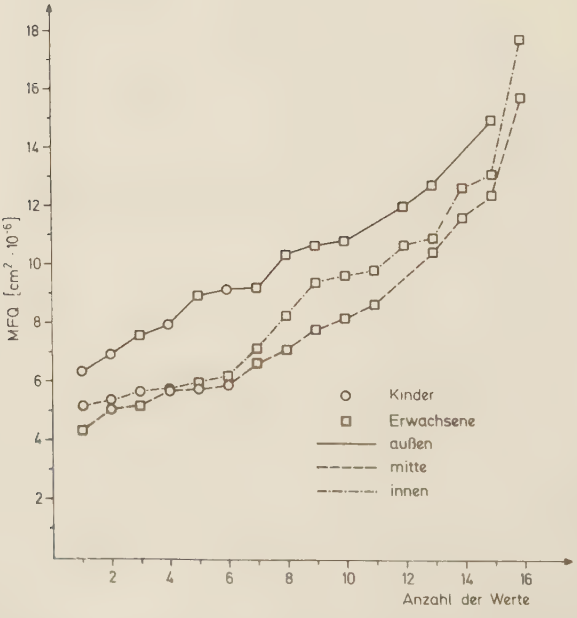

Abb. 13: Darstellung mittleren Mu kelfaserquer schnittsfläc an den Entna stellen inne Mitte, außer 4 Zwerchfell Die Werte s pro Entnahmes le nach Größ ordnet aufge net.

In den Abb. 14 - 17 sind die Beziehungen zwischen Zwerchfellfläche, Zwerchfellgewicht, Körpergröße und Körpergewicht graphisch dargestellt. Zwischen den Muskelfaserquerschnittsflächen und den jeweiligen oben genannten Größen besteht ein linearer Zusammenhang, was auch durch die ebenfalls dargestellte Regressionsgerade verdeutlicht wird. Die Korrelationskoeffizienten für diese Beziehungen liegen zwischen 0,8 und 0,94.

Abb. 18 zeigt die Beziehung zwischen den Muskelfaserquerschnittsflächen und dem Quotienten aus Körpergröße und Körpergewicht. Der Quotient gibt die Größe in Zentimeter pro kg Körpergewicht an. Aus der Darstellung geht hervor, daß offenbar eine gesetzmäßige Beziehung zwischen diesem Quotienten und der mittleren Muskelfaserquerschnittsfläche des jeweiligen Individuums besteht. Die Meßwerte für die kleinen Kinder liegen im flach ansteigenden rechten Kurventeil, die Werte für die Erwachsenen im steilen Kurvenverlauf. Dies besagt, daß sich bei den Erwachsenen im wesentlichen die mittleren Faserquerschnittsflächen ändern können, der besagte Quotient dagegen relativ konstant bleibt.

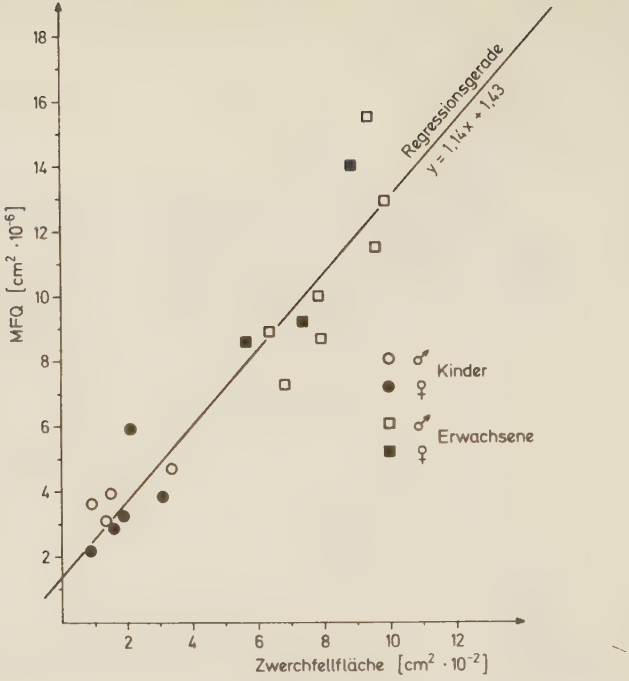

Abb. 14: Regressionsgerade für die Beziehung zwischen Muskelfaserquerschnittsfläche (MFQ) und Zwerchfellfläche der untersuchten Zwerchfelle (r= 0,94, p= 0,001).

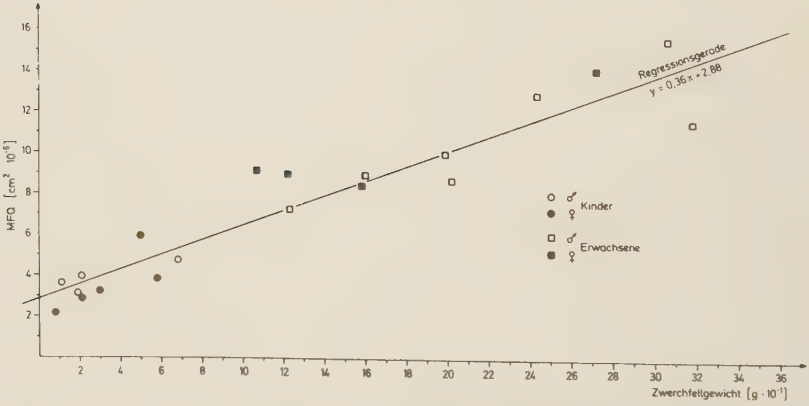

Abb. 15: Regressionsgerade für die Beziehung zwischen Muskelfaserquerschnittsfläche (MFQ) und Zwerchfellgewicht der untersuchten Zwerchfelle (r= 0,92, p= 0,001).

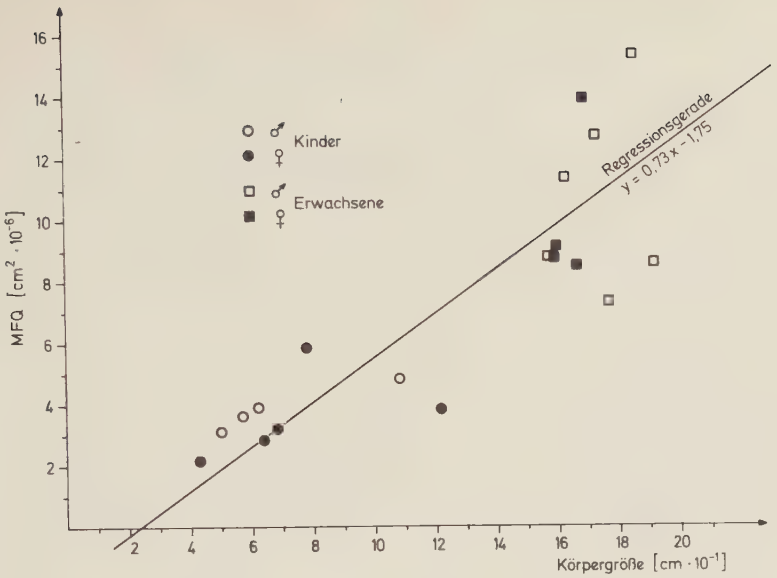

Abb. 16: Regressionsgerade für die Beziehung zwischen Muskelfaserquerschnittsfläche (MFQ) und Körpergröße (r = 0,85, p = 0,001)

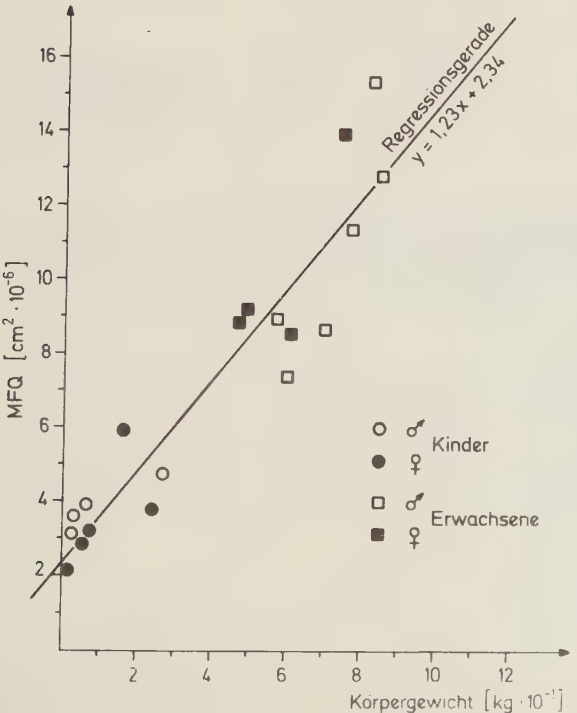

Abb. 17: Regressionsgerade für die Beziehung zwischen Muskelfaserquerschnittsfläche (MFQ) und Körpergewicht (r = 0,8, p = 0,00

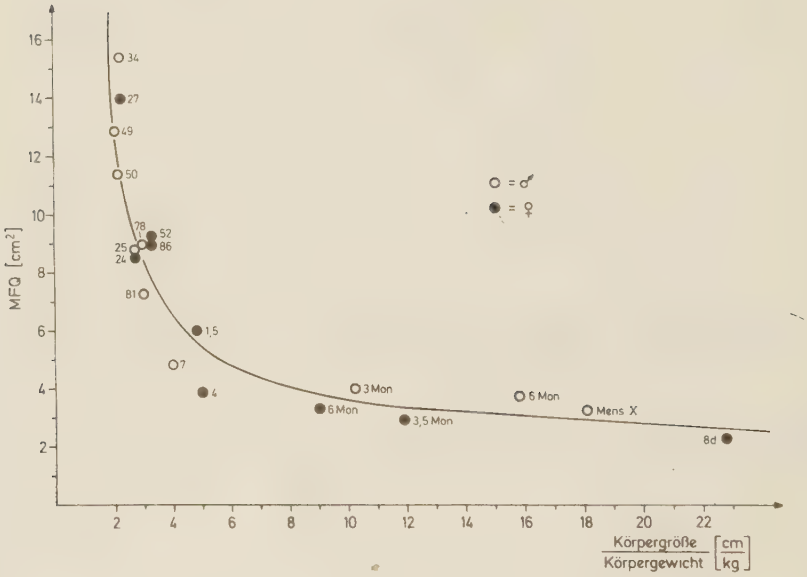

Abb. 18: Darstellung der Beziehung zwischen mittlerer Muskelfaserquerschnittsfläche und dem Qotienten aus Körpergröße und Körpergewicht bei allen untersuchten Zwerchfellen.

3.5. Bestimmung der Muskelfaseranzahl

Im Rahmen der unten ausgeführten Untersuchungen interessierte die Frage, ob das Zwerchfell ein zellkonstantes Organ ist.

Um ein Modell zur möglichst einfachen Berechnung der Muskelfaseranzahl des Zwerchfells zu finden, war es notwendig, die etwas größere Dicke rechts ventral, sowie die kleineren Muskelfaserquerschnittsflächen in der Mitte des muskulären Teils außer acht zu lassen. Da zudem die Länge der Muskelfasern des Zwerchfells nicht bekannt ist und man nicht voraussetzen kann, daß die Fasern durchgehend vom Ansatz bis zum Ursprung verlaufen, wurde nur die Faseranzahl am äußeren Rand des Zwerchfells bestimmt.

Diese Werte, die nicht die absolute Faseranzahl des Zwerchfells wiedergeben, erlauben jedoch eine ungefähre Aussage darüber, ob während des Wachstums oder später im Erwachsenenalter eine Vermehrung der Muskelfasern auftritt, da eine Faservermehrung in diesem Fall auch in den äußeren Randpartien stattfinden würde.

Der muskuläre Teil des Diaphragma wäre in seiner Form am ehesten mit dem Teil einer Kugelschale zu vergleichen. Da zur Bestimmung der Fläche einer Kugelschale jedoch vergleichsweise komplizierte Berechnungen erforderlich sind, wurde - stark vereinfachend - der muskuläre Teil des Zwerchfells als flacher scheibenförmiger Zylinder mit zentraler Aussparung (durch das Centrum tendineum) angesehen. Der äußere Mantel dieses Hohlzylinders enthält dann alle Muskelfaserquerschnittsflächen im Bereich des äußeren Rands.

Die Formel für den äußeren Umfang des Hohlzylinders lautet:

$$U = 2 \pi r$$

Für die Mantelfläche:

$$F_M = U \cdot h \text{ oder } F_M = 2 \pi r h$$

(U = Umfang, r = Radius, F_M = Mantelfläche, h = Höhe)

Da sowohl Umfang als auch Dicke des Zwerchfells bereits gemessen worden waren, wurde die Mantelfläche zum einen aus den gemessenen Werten bestimmt (gemessener Wert). Zum anderen wurde - zur Kontrolle für die Verwertbarkeit des Modells - der Umfang nach der Formel

$$U = 2 \pi r$$

berechnet, wobei r aus der Formel $F = \pi r^2$ berechnet wurde. (Die Fläche F der Zwerchfelle war ja bereits planimetrisch bestimmt worden, s. o. Die Höhe h des Zylinders wurde aus der Formel $V = F \cdot h$ bestimmt, wobei für das Volumen V das ebenfalls bestimmte Gewicht des Zwerchfells eingesetzt wurde: $V = G = F \cdot h$, $h = G/F$. Hierbei wurde das spezifische Gewicht des Zwerchfells als 1,0 gesetzt. Von der errechneten Höhe h wurde der prozentuale Anteil des Gesamtinterstitiums subtrahiert.

Anschließend wurde die Faseranzahl pro mm^2 bestimmt:

Aus den pro Präparat vorgenommenen 6 - 8 Messungen, bei denen bereits die Größe der Muskelfaserquerschnittsflächen bestimmt worden war, wurde die Anzahl der Muskelfasern pro mm^2 errechnet.

Beispiel: Muskelfaserquerschnittsfläche = $308 \cdot 10^{-6}$ mm^2

$$\frac{1 \quad mm^2}{0{,}000308 \; mm^2} = 2632 \text{ Muskelfasern}$$

Der Gesamtmittelwert pro Zwerchfell ergab sich aus den Mittelwerten pro Präparat. Vom Gesamtmittelwert wurde der Anteil des Interstitiums im Bereich der Muskelfaserbündel subtrahiert. In Tabelle 14 sind Muskelfaserzahlen pro mm^2 für die äußeren Entnahmestellen zusammengestellt, in Tabelle 15 die Werte der Entnahmestellen außen, in der Mitte und innen.

Wie Tabelle 13 zeigt, waren hinsichtlich der Faseranzahlen der äußeren Mantelhülle keine deutlichen Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen festzustellen. Dieser Befund ist mit der Vorstellung vereinbar, daß nach der Geburt keine entscheidende Faservermehrung mehr stattfindet.

Beim Vergleich der Faseranzahlen pro Zwerchfell lagen die "errechneten" Werte um durchschnittlich 0,4 Millionen über den "gemessenen" (s. Tabelle 13). Die Muskelfaseranzahlen pro mm^2 der Erwachsenen unter 50 Jahren waren nach dem Wilcoxon-Test auf dem 5 %-Niveau signifikant kleiner als bei den Erwachsenen über 50 Jahren.

In Abb. 22 sind die Werte der Muskelfaseranzahlen pro mm^2 der Entnahmestellen am äußeren Rand der Zwerchfelle nach Größe geordnet aufgetragen. Auf den ersten Blick scheinen zwar die Faseranzahlen dorsal links am größten zu sein, statistisch läßt sich jedoch kein signifikanter Unterschied feststellen.

Im Bereich der mittleren Entnahmestellen waren die Muskelfaseranzahlen dagegen signifikant größer als an äußeren

und inneren Entnahmestellen. Dies ist auch aus Abb. 23 zu ersehen, in der die Werte der Muskelfaserzahlen pro mm^2 bei 4 Zwerchfellen an den Entnahmestellen innen, in der Mitte und außen pro Entnahmestelle nach Größe geordnet aufgetragen wurden.

In den Abb. 19 - 21 sind die prozentualen Häufigkeitsverteilungen der Muskelfaserzahlen pro mm^2 bei Kindern (Abb. 19), Erwachsenen (Abb. 20) sowie Kindern und Erwachsenen (Abb. 21) dargestellt. Die Histogramme entsprechen erwartungsgemäß weitgehend den in gleicher Weise oben dargestellten Verhältnissen für die mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen.

Sekt.-Nr.	Alter	Muskelfaseranzahl pro mm^2 unkorrigiert		korrigiert		Faseranzahl pro Zwerchfell (Mill.) am äußeren Rand A		B	
21/72	Mens X	3140		2940		1,4		2,0	
38/72	8 Tage	4380		4130		1,5		1,7	
121/72	3 Mon	2520		2450		1,4		1,8	
107/72	3,5 Mon	3580		3470		1,9		2,0	
585/71	6 Mon	2790	$\bar{x}$=2852	2730	$\bar{x}$=2240	1,2	$\bar{x}$=1,8	1,6	$\bar{x}$=2,
141/72	6 Mon	3070		2980		2,1		2,6	
443/72	1,5 J	1570		1490		1,4		1,7	
104/72	4 J	2580		2530		2,8		2,7	
617/71	7 J	2040		1920		2,3		2,6	
546/71	24 J	1200		1180		1,8		2,7	
402/72	25 J	1230		1170		1,8		2,5	
23/72	27 J	690		650		1,9		2,2	
589/71	34 J	650	$\bar{x}$=897	640	$\bar{x}$=857	1,5	$\bar{x}$=1,7	2,0	$\bar{x}$=2,
354/72	49 J	810		800		1,2		2,1	
556/71	50 J	800		700		1,7		2,7	
			$\bar{x}$=995		$\bar{x}$=841		$\bar{x}$=1,5		$\bar{x}$=2,
124/72	52 J	1100		1080		0,9		1,6	
112/72	66 J	970		900		1,6		2,2	
614/71	78 J	1070	$\bar{x}$=1114	1000	$\bar{x}$=1042	1,7	$\bar{x}$=1,3	1,7	$\bar{x}$=1,7
383/72	81 J	1470		1450		1,2		1,8	
40/72	86 J	960		780		1,2		1,3	

Tabelle 13: Muskelfaseranzahl pro mm^2 ohne (unkorrigiert) und mit Berücksichtigung (korrigiert) des Bindegewebsanteils der untersuchten Faserbündel. Rechte Spalte: Faseranzahl am äußeren Rand des Zwerchfells, A nach gemessenem, B nach errechnetem Umfang (s. Text)

Sekt.-Nr.	Alter	ventral li	ventral re	dorsal re	dorsal li
21/72	Mens X	3204	3017	2881	3316
38/72	8 Tage	4466	4272	4470	4260
121/72	3 Mon	2355	2916	2530	2341
107/72	3,5 Mon	3211	3915	2945	4232
585/71	6 Mon	2868	2953	2400	2822
141/72	6 Mon	2880	2881	2882	3699
443/72	1,5 J	1286	1476	1581	1126
104/72	4 J	2290	2523	3026	2506
617/71	7 J	1938	2260	1857	2101
		$\bar{x}$ = 3078	$\bar{x}$ = 2912	$\bar{x}$ = 2730	$\bar{x}$ = 2934
546/71	24 J	967	1139	1421	1279
402/72	25 J	1225	970	828	1326
23/72	27 J	668	767	690	602
589/71	34 J	744	618	581	661
354/72	49 J	598	943	953	736
556/71	50 J	724	651	769	1078
		$\bar{x}$ = 821	$\bar{x}$ = 848	$\bar{x}$ = 874	$\bar{x}$ = 947
124/72	52 J	1073	1102	961	1306
112/72	66 J	904	1074	830	1087
614/71	78 J	884	1239	1079	1116
383/72	81 J	-	848	1130	-
40/72	86 J	1047	922	1141	722
		$\bar{x}$ = 977	$\bar{x}$ = 1037	$\bar{x}$ = 1028	$\bar{x}$ = 1058
		x_s = 1625	x_s = 1599	x_s = 1544	x_s = 1646

Tabelle 14: Muskelfaseranzahl pro mm^2 an den Entnahmestellen am äußeren Rand des Zwerchfells. $\bar{x}_s$ = arithmetisches Mittel der Mittelwerte $\bar{x}$.

Sekt.-Nr.	Alter	innen	Mitte	außen	D_{ges}	
443/72	1,5 J	1896	2004	1286	1729	ventr.li.
		1980	1752	1476	1736	ventr.re.
		1766	1752	1581	1700	dors.re.
		1808	1720	1126	1551	dors.li.
		$\bar{x}$ =1863	$\bar{x}$= 1807	$\bar{x}$= 1367	$\bar{x}$= 1679	
402/72	25 J	920	1414	1225	1186	ventr.li.
		1638	1198	970	1269	ventr.re.
		961	1257	828	1015	dors.re.
		1411	1532	1336	1426	dors.li.
		$\bar{x}$= 1232	$\bar{x}$= 1350	$\bar{x}$= 1090	$\bar{x}$= 1224	
354/72	49 J	575	643	598	605	ventr.li.
		1034	960	943	979	ventr.re.
		781	820	953	851	dors.re.
		797	874	736	802	dors.li.
		$\bar{x}$= 797	$\bar{x}$= 824	$\bar{x}$= 808	$\bar{x}$= 809	
383/72	81 J	1722	1986	-	1854	ventr.li.
		1260	-	848	1054	ventr.re.
		1077	1296	1130	1168	dors.re.
		1650	2355	-	2003	dors.li.
		$\bar{x}$= 1427	$\bar{x}$= 1879	$\bar{x}$= 989	$\bar{x}$= 1520	

Tabelle 15: Muskelfaseranzahl pro mm^2 an den Entnahmestellen innen, Mitte, außen.

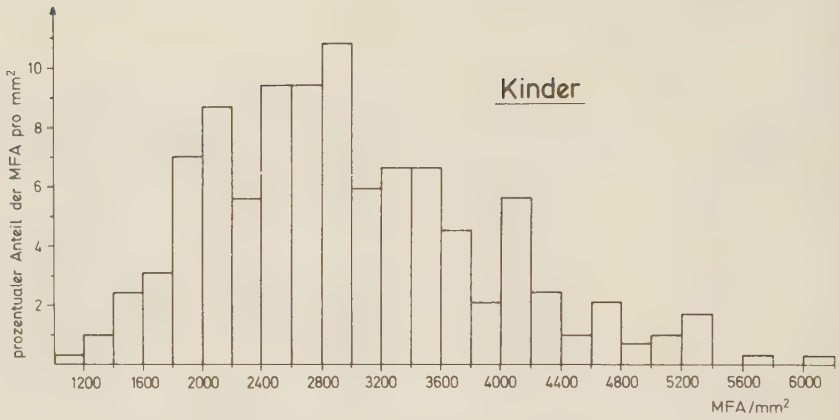

Abb. 19: Muskelfaseranzahlen pro mm^2 der einzelnen planimetrierten Faserbündel aus den untersuchten kindlichen Zwerchfellen in relativer Häufigkeitsverteilung.

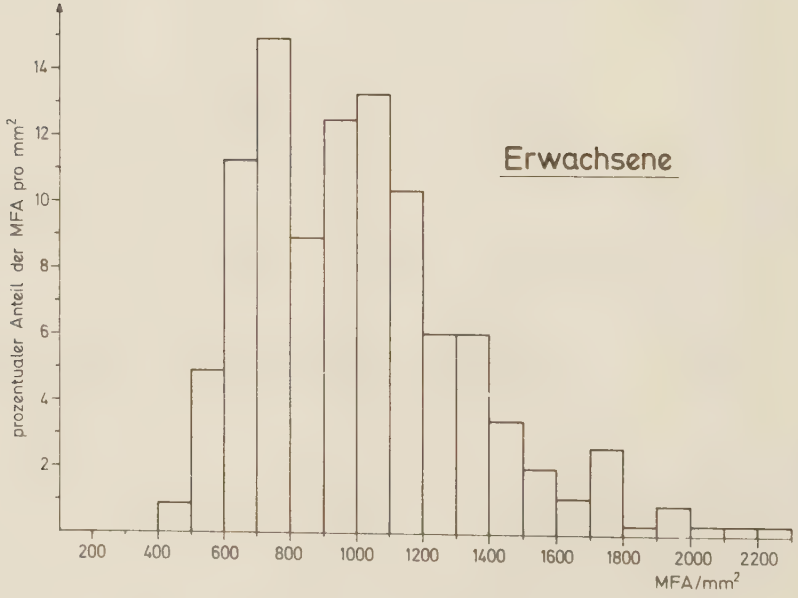

Abb. 20: Muskelfaseranzahlen pro mm^2 der einzelnen planimetrierten Faserbündel aus den untersuchten Zwerchfellen der Erwachsenen in relativer Häufigkeitsverteilung.

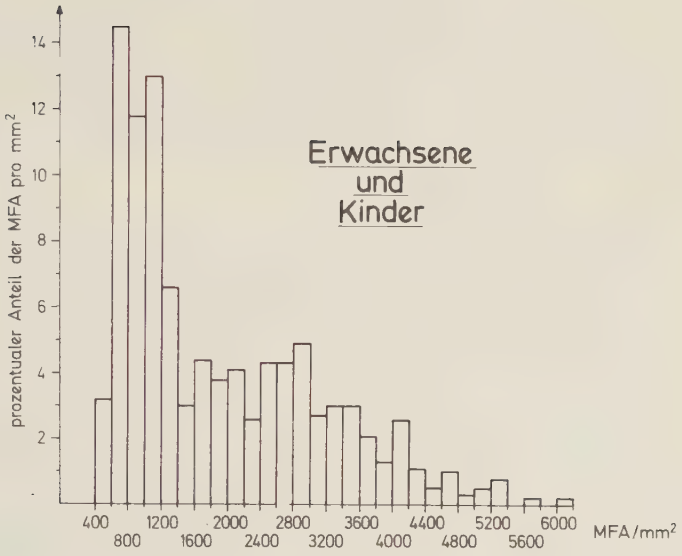

Abb. 21: Muskelfaseranzahlen pro mm^2 der einzelnen planimetrierten Faserbündel aus allen untersuchten Zwerchfellen in relativer Häufigkeitsverteilung.

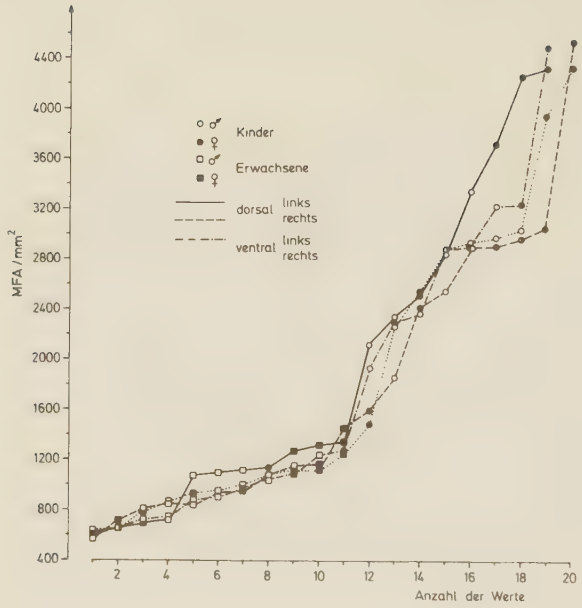

Abb. 22:
Darstellung der Muskelfaseranzahl pro mm^2 an den Entnahmestellen am äußeren Rand des Zwerchfells (ventral li, re, dorsal li, re) bei Erwachsenen und Kindern. Die Werte wurden pro Entnahmestelle nach Größe geordnet.

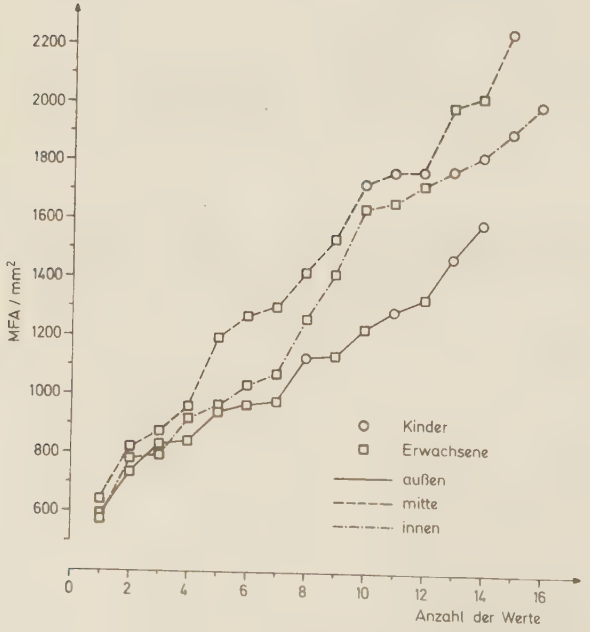

Abb. 23:
Darstellung der Muskelfaseranzahl pro mm^2 an den Entnahmestellen innen, Mitte, außen bei 4 Zwerchfellen. Die Werte sind pro Entnahmestelle nach Größe geordnet aufgezeichnet.

3.6. Untersuchungen zur Faserlänge

a) Zuerst wurde das in Formalin fixierte Zwerchfell untersucht. Unter dem Auflichtmikroskop stellten sich die Muskelfaserbündel des 1 cm breiten und ca. 14 cm langen Probestückes als gleichmäßig dicke, blaßbeige Schläuche dar, die gut sichtbar voneinander abgegrenzt waren. Wenige Faserbündel waren in unregelmäßigen Abständen von schmalen helleren Querstreifen unterbrochen.

Es zeigte sich, daß bereits in 1 bis 1 1/2 cm Entfernung vom sichtbaren Rand des Centrum tendineum einige Faserbündel in senkrecht zur Faserrichtung verlaufenden sehnenartigen Platten inserierten. Ein Teil dieser Platten war auch makroskopisch als schmale grauweißliche Streifen sichtbar, die konzentrisch zum Centrum tendineum verliefen. Eine genauere Untersuchung der direkt in diesen "Sehnenfäden" inserierenden Faserbündel war nicht durchführbar, da hierzu die Aufspaltung größerer Faserbündel notwendig gewesen wäre, was sich aber wegen der Brüchigkeit des Präparates nicht bewerkstelligen ließ. Muskelbündel, die aus 4 - 5 kleineren, nicht weiter aufteilbaren Bündeln bestanden, waren jeweils nur etwa 2 cm vollständig zurückzuverfolgen, da die kleineren Bündel nach und nach abbrachen. Von größeren Muskelbündeln zweigten in ca. 2 cm Entfernung vom Centrum tendineum kleinere Bündel ab und gingen scheinbar in die Tiefe.

b) Eine weitere, gleichartige Untersuchung wurde danach an dem Frischpräparat vorgenommen. Es zeigte sich, daß man dieses Präparat tatsächlich besser untersuchen konnte.

Die kleineren Faserbündel stellten sich - ähnlich wie im vorigen Präparat - als homogene, blaßrote Schläuche dar. Querstreifen - wie an den fixierten Muskelfasern - waren nicht zu beobachten. Man sah, daß mehrere Faserbündel dicht nebeneinander in Sehnenstreifen nahe dem Centrum tendineum (ca. 1 - 2 cm) inserierten. Es gelang, ein aus 5 - 6 kleineren Bündeln bestehendes Muskelfaserbündel vom Ansatz bis zum Ursprung zu verfolgen. Dieses Faserbündel erschien überall gleichmäßig dick, so daß kein sichtbarer Faserzuwachs zu erkennen war. Außerdem sah man, wie einige kleinere Faserbündel in ca 2 cm Entfernung vom Centrum tendineum das größere Bündel verließen, in die Tiefe gingen und dort in "Sehnenplatten" übergingen. Einige Bündel liefen noch weiter in Richtung Centrum tendineum. Es war jedoch nicht möglich, bis an den makroskopisch sichtbaren Rand des Centrum tendineum zu gelangen, da die Faserbündel in diesem Bereich sehr dicht nebeneinander verliefen und nicht isoliert werden konnten.

c) Um gegebenenfalls genauere Ergebnisse zu erhalten, wurden daraufhin in oben beschriebener Weise Gewebeproben in verschiedene Lösungen gebracht (s.o.).

Bei der Berührung mit Alkohol und Kalilauge schrumpften die Gewebsstücke sichtbar zusammen und nahmen eine blaßgraue Farbe sowie eine festere Konsistenz an.

Unter dem Durchlichtmikroskop konnte man die Muskelfasern zwar als dünne Schläuche sehen, es war jedoch nicht möglich, einzelne Muskelfasern zu isolieren, da

sie von Bindegewebe so fest und dicht umgeben waren, daß sie jedesmal zerrissen, wenn man versuchte, sie vorsichtig voneinander zu trennen.

Nach der Inkubation in Salpetersäure zerfiel das Gewebsstück bei Berührung in mehrere größere und kleinere Bruchstücke, wobei man jedoch keine sichere Aussage darüber machen konnte, ob die Fasern tatsächlich aufhörten, da die "Enden" der Muskelfasern und eventuell noch dünnere Ansatz- oder Ursprungssehnen durch das umgebende Bindegewebe nicht genau genug erkannt werden konnten.

Ein weiterer Versuch, das Bindegewebe mittels Kollagenase aufzulösen, brachte ebenfalls nicht den gewünschten Erfolg. Das teilweise in Kollagenase aufgelöste und gequollene Bindegewebe umgab die Muskelfasern als dichte Hülle, so daß die Muskelfasern auch nach längerer Inkubation nicht voneinander isoliert werden konnten.

Wenn auch anhand der zuletzt durchgeführten Untersuchungen keine genaue Aussage über die Länge der Muskelfaser gemacht werden kann, so liegt doch die Vermutung nahe, daß das häufige "Abbrechen" der Fasern darauf zurückzuführen ist, daß die Fasern tatsächlich innerhalb der Bündel ansetzten und entsprangen.

d) Um zu sehen, ob die Muskelfasern innerhalb eines Bündels aufhören oder neu beginnen, wurden in oben beschriebener Weise Serienschnitte von vier ca. 2 - 3 mm langen Gewebsstücken angefertigt und fotografiert.

Wie auf den als Beispiel ausgewählten Fotos zu erkennen ist (Abb. 24), konnte man auf diese Weise öfter Muskelfasern nachweisen, die innerhalb eines Bündels aufhören, indem die Muskelfaserquerschnittsfläche immer mehr abnimmt, bis die Faser schließlich verschwunden ist. An fast derselben Stelle erscheint in den nachfolgenden Schnitten eine neue Faser.

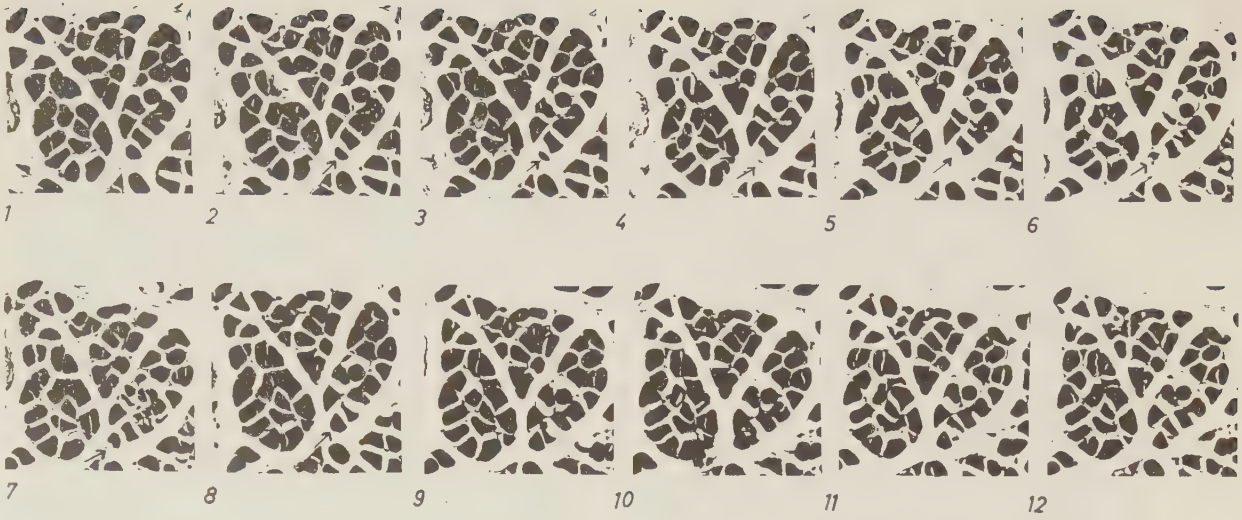

Abb. 24: Zwölf 7 µ dicke, fortlaufende Serienschnitte vom äußeren Zwerchfellrand (S.-Nr. 182/72). Die Querschnittsfläche der mit Pfeil markierten Muskelfaser nimmt kontinuierlich ab. In Stufe 5 ist die Faser verschwunden. Ab Stufe 6 erscheint an gleicher Stelle eine Faser mit zunehmender Querschnittsfläche (HE-Färbung, Abb.-Maßstab 1:100).

4. Diskussion

Mikromorphometrische Untersuchungen an Diaphragmen von Tieren und Menschen sind öfter im Rahmen einer allgemeinen Analyse der Skelettmuskelfasern durchgeführt worden (HALBAN, 1894; SCHIEFFERDECKER, 1909; WOHLFART, 1937; VOSS, 1937; BOWDEN et al., 1960).

Andere Arbeiten hatten eine Aufklärung der feingeweblichen Strukturen des Zwerchfells allein (GÜNTHER, 1952, 1953 und 1954; GEORGE et al., 1961; BUBENZER, 1966; GAUTHIER et al., 1966; SCOTT et al., 1976) zum Ziel, wobei häufiger histochemische Methoden zur Faserdifferenzierung wenigstens teilweise die Untersuchungen bestimmten (GEORGE et al., 1961; GAUTHIER et al., 1966; DAVIES et al., 1971 und 1972).

Daß die Informationen über das menschliche Diaphragma praktisch ausschließlich auf postmortalen Untersuchungen basieren, dürfte mit seiner schlecht zugänglichen Lage hinreichend erklärt sein. In der Diagnostik neuromuskulärer Erkrankungen bieten sich die weiter oberflächlich gelegenen Extremitätenmuskeln zur Entnahme von Biopsiematerial an. Im Gegensatz zum Zwerchfell sind an diesen Muskeln umfangreiche histochemische und elektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt worden.(EDSTRÖM et al., 1969; PONGRATZ, 1976; dort auch ausführlichere Literatur zu diesem Themenkomplex).

Wenn das Zwerchfell bezüglich der Diagnostik primärer muskulärer oder nervaler Dystrophien auch wenig Interesse beanspruchen kann, verdient es als Hauptatem-

muskel im Rahmen der viel häufigeren Atemwegserkrankungen mehr Beachtung. Denn die Fähigkeit des Zwerchfells, sich primär von der Lunge herrührenden krankhaften Zuständen mit veränderten funktionellen Anforderungen anzupassen, wird einen wesentlichen Einfluß auf den Verlauf solcher krankhafter Situationen nehmen müssen. Zu diesen Fragen liegen bisher nur wenige, z. T. widersprüchliche Untersuchungen vor. FROMME (1916) fand z. B. das Zwerchfellgewicht von Patienten mit "Emphysem und Thoraxstarre" vermindert. Histologische Untersuchungen wurden dabei jedoch nicht ausgeführt. STEELE et al. (1973) stellten fest, daß die Diaphragmen von Patienten mit chronischer Bronchitis im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit nicht pathologischem Lungenbefund eine deutlich verkleinerte Fläche, Dicke und Volumen aufweisen. Sie führten diese Ergebnisse auf die durch die geblähten Lungen eingeschränkten Exkursionen des Zwerchfells und die geringere körperliche Aktivität dieser Patienten zurück . SCOTT et al. (1976) fanden die durchschnittlichen Muskelfaserquerschnittsflächen bei Emphysematikern signifikant größer als bei Vergleichspersonen. Hier fehlen aber Angaben über Zwerchfellgewichte. WYATT et al. (1964) stellten fest, daß das Diaphragma Muskelhypertrophie als Folge eines Emphysems zeige, teilten aber keine Messungen mit. Eine Verdickung des Zwerchfells wurde auch von ISHIKAWA et al. (1973) bei Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen gefunden, bei einigen dieser Patienten waren auch die Muskelfaserquerschnittsflächen vergrößert. MCKENZIE et al. (1972), die Diaphragmen von Bergarbeitern untersuchten, wiesen eine hohe Korrelation

zwischen den Atemexkursionen des Zwerchfells und dem Ausmaß des bei der Obduktion festgestellten Lungenemphysems nach, wobei sich die beiden genannten Größen umgekehrt proportional verhielten. Messungen der Zwerchfellgewichte wurden in dieser Arbeit nicht durchgeführt.

In den vorliegenden Untersuchungen kam es darauf an, aus einem weitgehend unausgewählten Sektionsgut Informationen über das Verhalten der menschlichen Zwerchfellmuskulatur in verschiedenen Lebensaltern zu bekommen. Die einzige Bedingung war, daß kein Patient mit primären muskulären oder nervalen Erkrankungen berücksichtigt werden sollte, außerdem erstreckte sich die Untersuchung nicht auf Foeten. Das soweit unausgewählte Untersuchungsgut ließ erwarten, daß es bei größeren individuellen Abweichungen auch einen guten Hinweis auf "normale" Verhältnisse lieferte. Sicherlich wäre man diesen "normalen" Verhältnissen leichter nahe gekommen, hätte man nur die Zwerchfelle von plötzlich Verstorbenen (etwa Unfallopfer) berücksichtigt. Es war aber praktisch kaum möglich, in einem vertretbaren Zeitraum in dem kleinen Marburger Obduktionsgut 20 Zwerchfelle von solchen plötzlich Verstorbenen aus allen Altersklassen zur Verfügung zu haben. Außerdem ist gerade das Zwerchfell mit seiner funktionellen Dauerbelastung anderen, möglicherweise zur Atrophie führenden externen und internen Einflüssen weniger ausgesetzt. Schon FROMME (1916) hat bei ihren einfachen Wägungen festgestellt, daß bei abgezehrten Individuen die Atrophie der Muskulatur am Zwerchfell geringer als an anderen Skelettmuskeln ausgeprägt ist.

Auch in der Neugeborenenperiode ist das Diaphragma insofern auffällig, als es relativ zum Körpergewicht schwerer ist als beim Erwachsenen (FROMME, 1916), und seine Muskelfasern haben einen bemerkenswert großen Querschnitt (HALBAN, 1894; WOHLFART, 1937; BOWDEN et al., 1960). Nach HALBAN (1894) ist das Verhältnis der Muskelfaserquerschnittsflächen von Diaphragma und M. gluteus maximus beim Kind 1,5 : 1, beim Erwachsenen umgekehrt 1 : 1,5. HALBAN (1894) erklärte diese Tatsache wohl zutreffend mit der viel größeren Zunahme funktioneller Beanspruchung des M. gluteus maximus gegenüber dem bereits beim Neugeborenen funktionell belasteten Zwerchfell.

Unsere histologischen Untersuchungen wurden im wesentlichen an gelatine-eingebettetem Muskelgewebe ausgeführt. Mit dieser Methode, die auch WOHLFART anwandte, werden die Nachteile der Paraffineinbettung - besonders die ungleichmäßige Schrumpfung des Gewebes - umgangen, und auf der anderen Seite wird auf die Vorteile der Gefrierschnittechnik und der Gewebseinbettung nicht ganz verzichtet. Die vorausgegangene Fixierung in Formalin verbietet die nur an Kryostatschnitten unfixierten Gewebes ausführbaren histochemischen Untersuchungen. Diese sollten - wie in der Einleitung bereits erwähnt - nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sein. Die durch die Formalinfixierung eintretende Gewebsschrumpfung ist vernachlässigbar klein (JOUBERT, 1956). Die Bestimmung der Muskelfaserquerschnittsflächen als mittlerer Wert aus planimetrierten Muskelfaserbündelumrissen und die Bestimmung der Zahl der Muskelfasern des Bündels erschien

zweckmäßig, weil dadurch mit weniger Zeitaufwand große Muskelfaserzahlen exakt erfaßt werden konnten. Die zusätzlich durchgeführte Bestimmung des Bindegewebsanteils innerhalb der Bündel nach dem Punktzählverfahren (s. LEIPNITZ, 1964; WEIBEL, 1963) erhöhte die Genauigkeit. Aufwendigere Methoden mit Bestimmung der Einzelfaserdurchmesser (SONG et al., 1963; AHERNE, 1968; JENNEKENS, 1971) oder der Einzelfaserflächen (SISSONS, 1963; EDSTRÖM et al., 1969; PONGRATZ, 1976; SUCHENWIRTH et al., 1970) wie sie für die Analyse neuromuskulärer Erkrankungen notwendig sind, konnten so umgangen werden.

Bei der Bestimmung der Zwerchfelldicke aus den histologischen Präparaten wurde der makroskopische Eindruck bestätigt, daß die Dicke der Pars muscularis an allen Stellen - abgesehen von den nicht untersuchten lumbalen Anteilen - weitgehend gleich war. Etwas größere Werte der rechts ventral entnommenen Präparate waren aber unübersehbar, wie aus der entsprechenden Tabelle zu entnehmen ist. In der Abbildung 4 sind die gemessenen Werte der Zwerchfelldicke an den vier äußeren Entnahmestellen nach Größe geordnet aufgezeichnet. Die Darstellung kann deshalb nur als Aussage über das Gesamtkollektiv aller 20 Zwerchfelle verstanden werden. Der Befund konnte auch - wie bereits oben erwähnt - statistisch gesichert werden. Bei der Bestimmung des Gesamtinterstitiums fielen solche Unterschiede nicht auf (s. Tab. 8). Die Beobachtung ist deshalb allein auf den Muskelanteil zu beziehen. Als Deutung dieser Verhältnisse wird man am ehesten eine funktionelle Mehrbelastung des

rechten ventralen Zwerchfellanteils zwischen Leber und Lunge in Betracht ziehen müssen. Andere Autoren haben unseres Wissens diese Frage nicht bearbeitet.

Die Bestimmung des Interstitiums im Zwerchfell diente einerseits dazu, die Werte für die mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen zu korrigieren, zum anderen, um den wahren muskulären Anteil exakter zu erfassen. Dadurch sollten auch zusätzliche Fehler, beispielsweise durch extrazelluläre Flüssigkeitsansammlungen (Ödem), vermieden werden. Innerhalb der zur Bestimmung der Muskelfaserquerschnittsflächen ausgewählten und planimetrierten Muskelbündel war der Bindegewebsanteil meist geringer (0,5 bis 11 % bei Kindern, 0,5 bis 22 % bei Erwachsenen). Das Gesamtinterstitium, das durch Punktzählverfahren bestimmt worden war, schwankte ziemlich stark innerhalb eines Zwerchfells an verschiedenen Entnahmestellen und bei den Diaphragmen untereinander. Regelhafte Unterschiede konnten nicht gefunden werden. Bemerkenswert ist der über alle Lebensalter fast konstante Anteil des Gesamtinterstitiums von etwa 35 %. Dieser Befund steht im Widerspruch zu den Angaben von TORMENE (1955) und LINDNER (1972 - Hd.B. Altern), wonach das Bindegewebe des Zwerchfells bzw. der Skelettmuskulatur allgemein mit dem Alter zunehmen soll. LINDNER (1972) betont jedoch örtliche und speziesbedingte Unterschiede. PAFF (1930) fand bei unterschiedlich grossen Tierspezies den Bindegewebsgehalt in den Skelettmuskeln ziemlich konstant mit 42 %, wobei allerdings

das Zwerchfell nicht berücksichtigt wurde und keine Angaben über Alter oder Altersunterschiede der Tiere gemacht sind. Dieser nach den vorliegenden Befunden im Laufe des Lebens weitgehend konstante Anteil des Interstitiums der Zwerchfelle ist möglicherweise eine Folge der im Gegensatz zu den meisten anderen Skelettmuskeln auch im höheren Alter durch die Atmung gegebenen dauernden funktionellen Zwerchfellbelastung. Das hier angeschnittene Problem berührt nicht die Frage der Alterung des Kollagen- und Elastinanteils des Zwerchfellbindegewebes.

Die Abbildungen 5 und 6 belegen bei Betrachtung des Gesamtkollektivs der untersuchten Zwerchfelle fehlende systematische Unterschiede des Bindegewebsgehaltes an den verschiedenen Entnahmestellen. Eine statistische Überprüfung brachte eine Bestätigung dieses Befundes. Auch aus den Abbildungen 2 und 3 mit gleichzeitiger Darstellung von Zwerchfelldicke und Bindegewebsanteil geht hervor, daß dickere Zwerchfelle zwar absolut mehr Bindegewebe enthalten, der relative Anteil aber praktisch gleich bleibt.

Eine zentrale Bedeutung in der Morphometrie der Skelettmuskulatur kommt der Muskelfaserquerschnittsfläche der Einzelfaser zu. Die Bestimmung dieser Größe war gewöhnlich das Hauptziel morphometrischer Untersuchungen am Muskelgewebe (s.u.a. SCHWALBE et al., 1840; HALBAN, 1894; SCHIEFFERDECKER, 1909; WOHLFART, 1937). Unsere Untersuchungen ergaben

zunächst, daß keine regelhaften Unterschiede der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen innerhalb eines Zwerchfells an den vier Entnahmestellen am äußeren Rand (s. Methodik) bestanden. VOSS (1937) berichtete über durchschnittlich 25 % kleinere Muskelfaserquerschnittsflächen in der Pars costalis gegenüber der Pars lumbalis des Zwerchfelles, die hier nicht untersucht wurde. In einer vorausgegangenen Arbeit von KOHASHI (zit. nach VOSS) war dieser Befund nicht erhoben worden. Auch GÜNTHER (1954) fand im Katzenzwerchfell keine solchen Unterschiede.

Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der Größe der Muskelfaserquerschnittsflächen sind nicht nachweisbar. Andere Autoren kamen in dieser Frage zu unterschiedlichen Ergebnissen: Während KÖLLIKER (1850) und ELIOT et al. (1943) in früheren Untersuchungen einen Größenunterschied in der Muskelfaserdicke ablehnten, vertrat BOWMAN (1840) die Ansicht, daß die Muskelfasern beim weiblichen Geschlecht um ca. 1/4 dünner seien als die des männlichen. Am ehesten könnte man sich der Meinung HALBANS (1894) anschließen, nach der die Dicke der Muskelfasern hauptsächlich vom Kräfte- bzw. Trainingszustand des Individuums abhängig ist. JOUBERT (1956) fand in neuerer Zeit bei seinen Untersuchungen an Schafen, daß die männlichen Tiere zwar schwerere Muskeln, jedoch keine größeren Muskelfaserquerschnittsflächen hatten.

HOPF (1934) zeigte am M. masseter des Menschen, daß unterschiedliche mittlere Muskelfaserquerschnitts-

flächen in verschiedenen Portionen eines Muskels vorkommen, konnte jedoch nicht wie WOHLFART (1937) eine regelhafte Verteilung der dickeren Muskelfasern feststellen. WOHLFART (1937) beschreibt das Vorkommen von zwei verschiedenen Fasertypen in einigen menschlichen Muskeln, u. a. auch im Zwerchfell, wobei dieses Fasersystem jedoch nicht mit den in der Einleitung erwähnten Fasertypen zu vergleichen ist. Die Unterscheidung der b-Fasern, die sich gegenüber den anderen Muskelfasern (a-Fasern) durch ihre dunklere Färbung sowie ihren deutlich größeren Faserdurchmesser und ihre regelhafte Lage (1 b-Faser pro primäres Muskelbündel) auszeichnen, ist nur in der Zeit vom 4. Fetalmonat bis zum Ende des 1. Lebensjahres - in beschränktem Maße noch während des Kleinkindesalters - möglich. Bei Jugendlichen und Erwachsenen treten die o. gen. Merkmale zunehmend in den Hintergrund. WOHLFART (1937) beschreibt auch das Wiederauftreten der b-Fasern im hohen Alter. Der prozentuale Anteil an b-Fasern beträgt nach WOHLFART (1937) im Zwerchfell des Neugeborenen 2,38/1,95 %, bei Kindern und Erwachsenen ca. 1 %. Die Funktion des von ihm beschriebenen Fasersystems konnte der Autor nicht genau definieren. Die meisten anderen Autoren lehnten diese Art der Faserdifferenzierung ab (BOWDEN et al., 1960; AHERNE, 1968; ADAMS, 1975), da die b-Fasern einmal nur in einem geringeren Prozentsatz vorlagen und zum anderen auch nicht genau von den a-Fasern unterschieden werden konnten. Lediglich FENICHEL (1963) verglich die b-Fasern mit einem Teil des Typ-I-Fasersystems. Bei den eigenen Untersuchungen der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen fielen uns zwar bei Kindern unter einem Jahr

deutlich größere Muskelfasern auf, die aber regellos verstreut lagen und keine dunklere Färbung aufwiesen. Im mittleren Lebensalter waren die Größenunterschiede der Muskelfaserquerschnittsflächen untereinander geringer, bei älteren Menschen traten ebenfalls wieder vereinzelt und regellos Fasern mit besonders großem Durchmesser auf. Dies könnte man durch eine kompensatorische Hypertrophie einzelner Fasern nach altersbedingtem Untergang anderer Fasern verstehen - eine Deutung, die auch ADAMS (1975) gibt. Andere Autoren hielten die größeren Faserdurchmesser für Kontraktionsknoten (KNOLL et al., 1940).

Die Untersuchung der Muskelfaserquerschnittsflächen am äußeren und inneren Rand sowie in der Mitte des muskulären Zwerchfellanteils ergab, daß die Muskelfaserquerschnittsflächen im Mittelteil kleiner sind. Dieser Unterschied war statistisch signifikant. Ein ähnlicher Befund aus der Literatur liegt bisher nicht vor. Eine Erklärungsmöglichkeit für dieses Phänomen könnte in der Art des Muskelgefüges der Skelettmuskeln liegen. Diese setzen sich nach Befunden HUBERS (1916) am Kaninchen (s. auch KÖLLIKER, 1850; ADAMS, 1975) überwiegend aus spindelförmigen, beidseits spitz zulaufenden Fasern von 2 bis 4 cm Länge zusammen. Unsere Gewebsentnahmen erfolgten jeweils 1 bis 2 cm vom Rand des Zwerchfellursprungs bzw. vom sichtbaren Rand des Centrum tendineum und in der Mitte dazwischen. Bei der erwähnten Faserlänge erscheint es möglich, daß in den Randpartien mehr Muskelfasern im Bereich ihres dickeren Mittelstückes, im mittleren Zwerchfellmuskelareal dagegen öfter an den spitz zulaufenden Enden geschnitten

wurden. Die Tatsache, daß die Muskelfaserquerschnittsflächen im Bereich der Entnahmestellen am inneren Rand nicht deutlich kleiner waren, könnte man am ehesten dadurch erklären, daß die Gewebeproben relativ weit entfernt vom eigentlichen Muskelansatz entnommen worden waren. Direkt im Bereich des sichtbaren Randes wäre auch eine Abnahme der Faseranzahl zu erwarten, da die Faserbündel an gegeneinander verschobenen "Sehnenplatten" ansetzen. Die gleichbleibende Dicke der Pars muscularis an inneren, mittleren und äußeren Entnahmestellen trotz kleinerer Muskelfaserquerschnittsflächen im Bereich der mittleren Entnahmestellen könnte man dadurch erklären, daß in diesem Bereich neben spitz zulaufenden, endenden Fasern neue Fasern beginnen, wodurch auch die Zunahme der Faseranzahl pro mm^2 erklärt wäre. Schon SCHIEFFERDECKER (1909) und ROLLET (zit. bei RIEDEL) hatten das Vorkommen von kleineren Muskelfaserquerschnittsflächen damit erklärt, daß Muskelfasern innerhalb eines Muskels enden bzw. beginnen.

Die mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen ändern sich mit dem Lebensalter (JOUBERT, 1956; BOWDEN et al., 1960; AHERNE, 1971). Als Ausdruck des Muskelwachstums werden die Durchmesser bzw. Querschnittsflächen der Einzelfasern größer, auch ein Längenwachstum der Fasern tritt wahrscheinlich ein. Eine nennenswerte Muskelfaservermehrung lange über die Neugeborenenperiode hinaus konnte demgegenüber von den meisten Untersuchern nicht nachgewiesen werden (RIEDEL, 1874; HALBAN, 1894; WOHLFART, 1937; ELIOT et al., 1943; JOUBERT, 1956; MONTGOMERY, 1962; CHIAKULAS et al., 1965; ISHIKAWA, 1966; MOSS, 1968; SHAFIQ et al., 1968; STINGL, 1972). Dazu muß

jedoch bemerkt werden, daß keine dieser Untersuchungen, die zur Frage der postnatalen Faservermehrung Stellung nehmen, an Zwerchfellen durchgeführt wurde. ADAMS (1975) hingegen schloß zwar eine postnatale Faservermehrung nicht aus, kam allerdings zu dem Schluß, daß die Zahl der neu hinzukommenden Fasern im Vergleich zu der bereits vorhandenen sehr gering sei. BRIDGE et al. (1970) fanden eine deutliche Faservermehrung beim neugeborenen Känguruh, das jedoch vergleichsweise sehr unreif geboren wird.

Die Histogramme der Abb. 8 bis 11 geben die Verteilungskurve der Muskelfaserquerschnittsflächen der verschiedenen Altersgruppen wieder. Da keine Einzelfasern gemessen wurden, sind die Größen der in den drei Altersgruppen (1. Kinder, 2. Erwachsene bis 50 Jahre, 3. Erwachsene über 50 Jahre) festgestellten, mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen aus den einzelnen planimetrierten Muskelfaserbündeln der Häufigkeit nach aufgezeichnet. Es fällt auf, daß die Kurven für die Gruppen der Kinder (Abb. 7) und alten Erwachsenen (Abb. 9) im Vergleich zu der der jüngeren Erwachsenen (Abb. 8) eine schmale Basis, d. h. geringere Streuung der Werte aufweisen. Die individuellen Unterschiede der Muskelfaserquerschnittsflächen sind - wie auch die entsprechenden Tabellen zeigen - im mittleren Lebensabschnitt am deutlichsten ausgeprägt. Im höheren Lebensalter nehmen die Muskelfaserquerschnittsflächen in unserem Untersuchungsgut im Durchschnitt wieder ab. Dies dürfte Ausdruck einer verminderten funktionellen Beanspruchung des Zwerchfells und im Rahmen der allgemeinen Altersatrophie der Organe zu sehen sein. Hinzu kommt, daß im vorliegenden Untersuchungsgut auch Zwerchfelle von einigen kachektischen, nach längeren

chronischen Leiden Verstorbenen enthalten sind. Wie bereits ausgeführt, betrifft eine durch Abzehrung bedingte Organatrophie das Zwerchfell zwar weniger als andere Skelettmuskeln (FROMME, 1916), geht aber an ihm nicht spurlos vorüber. Dies konnte an anderen Skelettmuskeln bei Nahrungsbeschränkung auch im Tierversuch nachgewiesen werden (JOUBERT, 1956; MOSS, 1968). Eine Zunahme der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen bei trainierten gegenüber untrainierten Versuchstieren ist ebenfalls demonstriert worden (SCHIEFFERDECKER, 1909; ELIOT et al., 1943; HOFFMANN, 1938). Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, daß die Erwachsenen der 3. Altersgruppe (über 50 J.), deren mittlere Muskelfaserquerschnittsflächen signifikant geringer waren als die der 2. Altersgruppe (unter 50 J.), alle nach längeren chronischen Leiden verstorben waren und bis auf einen Fall ein mäßig- bis hochgradiges Lungenemphysem aufwiesen. Dieser Befund steht im Widerspruch zu den bereits oben erwähnten von SCOTT et al. (1976), die eine deutliche Vergrößerung der Muskelfaserquerschnittsflächen bei Emphysematikern fanden, allerdings keine Angaben über die Zwerchfellgewichte machten. WYATT et al. (1964) hatten ebenfalls eine Muskelhypertrophie als Folge eines Emphysems festgestellt. Die Abweichung unserer Befunde wäre eventuell dadurch zu erklären, daß die Patienten mit Lungenemphysem alle zur 2. Erwachsenengruppe gehörten (über 50 J.) und nach längeren chronischen Leiden verstorben waren. Hier könnte

z. B. eine verminderte Atemexkursion bei altersbedingter Thoraxstarre und langdauernder körperlicher Inaktivität zu einer Abnahme des Zwerchfellgewichtes und Verkleinerung der Muskelfaserquerschnittsflächen führen.

Die Muskelfaserquerschnittsflächen gleicher Muskeln sind von Tierart zu Tierart ziemlich unterschiedlich. Sie zeigen bei alten Tieren verschiedener Tierarten keine Abhängigkeit vom Körpergewicht (HALBAN, 1894; PAFF, 1930; JOUBERT, 1956; DAVIES et al., 1972; s. dagegen GAUTHIER et al., 1966). Bei der gleichen Spezies ist allerdings eine Abhängigkeit der Muskelfaserquerschnittsflächen vom Körpergewicht während des Wachstums festzustellen (ELIOT et al., 1943; JOUBERT, 1956; CHIAKULAS et al., 1965).

Unsere Untersuchungen bestätigen einen Zusammenhang zwischen Körpergewicht oder Körpergröße und Muskelfaserquerschnittsflächen bei Kindern und Erwachsenen. Die Korrelationskoeffizienten betrugen o,8 und o,85, wobei allerdings nicht ganz sicher ist, ob hier eine kausale oder eine Gemeinsamkeitskorrelation vorliegt (SACHS, 1974). Das gleiche gilt für die Zusammenhänge zwischen Zwerchfellgewicht oder Zwerchfellfläche und Muskelfaserquerschnittsflächen (s. Abb. 14 und 15). Der hohe Korrelationskoeffizient von 0,94 bei der letzteren graphisch dargestellten Beziehung ist besonders bemerkenswert. Denn ein vermehrter Kraftaufwand bei größerem Thorax mit entsprechend größerem Atemvolumen erscheint einleuchtend.

Offenbar gesetzmäßige Zusammenhänge bestehen auch zwischen Muskelfaserquerschnittsflächen des Zwerchfells und anderen, dem jeweiligen Individuum eigenen Parametern körperlicher Eigenschaften. So finden sich bei graphischer Darstellung der Muskelfaserquerschnittsflächen in Abhängigkeit vom Quotienten

$$\frac{\text{Körpergröße in cm}}{\text{Körpergewicht in kg}}$$

alle Werte im Verlauf einer Hyperbel (Abb. 18). Dabei fällt auf, daß junge Erwachsene bei kleinem Quotienten die höchsten Muskelfaserquerschnittsflächen erreichen, die alten Erwachsenen auf dieser Kurve dann vermutlich wieder absinken und sich den Kindern nähern. Wenn dies zutrifft, kann man die Überschreitung des Maximums der Kurve als bildliche Darstellung der Überschreitung des "Lebenshöhepunktes"auffassen.

Die Bestimmung des äußeren Umfangs des Zwerchfells gestattet bei bekannter Zwerchfelldicke und bekannter Größe des muskulären Anteils unter Hinzuziehung der gemessenen mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen eine Berechnung aller außen angeschnittenen Muskelfasern. Denn diese liegen sozusagen alle in einer flachen Zylindermantelfläche. Die lumbalen Anteile werden dabei bezüglich der Zwerchfelldicke - natürlich nicht ganz korrekt - wie das übrige Zwerchfell behandelt. Vergleicht man die so gewonnenen Zahlen, so ergeben sich ziemlich große individuelle Schwankungen (s. Tab. 13). Die Mittelwerte der drei bereits oben erwähnten Gruppen der 1. Kinder, 2. Erwachsenen unter 50 Jahren

und 3. Erwachsenen über 50 Jahren liegen mit 1,8 Millionen, 1,6 Millionen und 1,3 Millionen jedoch relativ nahe zusammen. Die Annäherung wird größer, wenn man bei den Kindern den größten, bei den Erwachsenen jeweils den kleinsten Wert unberücksichtigt läßt. Bei den relativ kleinen Zahlen ergeben sich dann für Gruppe I 1,7 Millionen, für Gruppe II 1,7 Millionen und für Gruppe III 1,4 Millionen Fasern.

Dies könnte ein Hinweis auf das von vielen Autoren (s. oben) angenommene fehlende numerische Muskelfaserwachstum in der postnatalen Periode sein. Zudem ist es - wenn auch nur mit Vorbehalten - ein Argument für den Schwund von Muskelfasern im höheren Alter. Dieses Problem ist im Gegensatz zu der häufig angegangenen Frage einer postnatalen Muskelfaservermehrung nur selten bearbeitet worden. ADAMS (1975) beschreibt einen Verlust von Muskelfasern im Alter, während SCHIEFFERDECKER (1909) eine Abnahme von Muskelfasern bei Krankheit gefunden hatte, wobei er jedoch keine genaueren Angaben über diese Krankheiten machte. Wir hatten bei der 3. Altersgruppe vereinzelt und regellos auftretende Muskelfasern mit besonders großem Durchmesser gefunden, die in der 2. Altersgruppe nicht auffielen. Diese Beobachtung wäre eventuell mit einer kompensatorischen Hypertrophie nach Untergang benachbarter Muskelfasern zu erklären. Die oben genannten Muskelfaseranzahlen gelten - wie gesagt - nur für den äußeren Umfang des Zwerchfells. Sie sagen über die Gesamtfaseranzahl solange nichts

aus, wie die Längen der Muskelfasern nicht bekannt sind.

Zu dieser Frage angestellte eigene Versuche einschließlich eines Experimentes mit der das Peri- und Endomysium auflösenden Kollagenase sind fehlgeschlagen. Aus der Literatur sind Muskelfaserlängen des Musculus sartorius bis 34 cm bekannt geworden (LOCKHARDT et al., 1938). Solche Ergebnisse müssen aber - auch nach den eigenen Erfahrungen mit den Schwierigkeiten der Präparationsmethoden - mit Skepsis betrachtet werden. Es erscheint wahrscheinlicher, daß das Zwerchfell wie die anderen Skelettmuskeln aus einem Gefüge 2 bis 4 cm langer, meist spindelförmiger Muskelfasern (KÖLLIKER, 1850; HUBER, 1916) besteht. Einen Hinweis darauf geben die eigenen - allerdings nicht sehr umfangreichen - Serienschnittuntersuchungen eines Zwerchfells. Es ließen sich dabei ohne Schwierigkeiten das Verschwinden und der Neubeginn einzelner Muskelfasern nachweisen. Über ähnliche Befunde ist von BRIDGE et al. (1970) berichtet worden.

Mit den hier diskutierten Untersuchungsergebnissen sind selbstverständlich nicht alle interessierenden Fragen zur Mikromorphologie des menschlichen Zwerchfells beantwortet. Weitgehend unberücksichtigt blieben alle Probleme der Auswirkung pathologischer Zustände benachbarter Organe oder der Thoraxwand auf die Feinstruktur des Zwerchfells. Dies beinhaltet neben Untersuchungen an den Muskelfasern selbst z. B. auch die Analyse der Gefäßarchitektur unter verschiedenen pathologischen Bedingungen. Wie bereits in der Einleitung hervorgehoben,war es das Ziel der vorliegenden Untersuchung,Voraussetzungen und Maßstäbe für derartige weiterführende Arbeiten zu schaffen.

5. Zusammenfassung

Das Zwerchfell nimmt durch seine rhythmische Tätigkeit "vom ersten Atemzug" bis zum Tode eine Sonderstellung unter den willkürlichen Muskeln des Körpers ein. Systematische mikrometrische Untersuchungen dieses Muskels liegen bisher nicht vor. Da es sich um den Hauptatemmuskel handelt, ist zu erwarten, daß sich die vielfältigen pathologischen Veränderungen der Lunge auch am Zwerchfell auswirken. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, systematische mikromorphometrische Befunde des Zwerchfells zu erarbeiten, die Aufschluß über das Verhalten der Muskelfasern des Zwerchfells an verschiedenen Stellen des Organs und in verschiedenen Lebensaltern geben. An diesen Daten sollen in später durchzuführenden Untersuchungen pathologische Abweichungen gemessen werden.

Als Untersuchungsgut dienten 20 weitgehend unausgewählte Zwerchfelle von Verstorbenen im Alter zwischen Mens X und 86 Jahren. Die mikroskopischen Befunde wurden an etwa 10 u dicken Schnitten längs und quer zum Faserverlauf entnommener Muskelstücke nach Formalinfixierung und Gelatineeinbettung erhoben.

Neben den äußeren Umfängen der Zwerchfelle wurden an verschiedenen Stellen die Zwerchfelldicken gemessen, außerdem die Vol-% des Interstitiums und aus jeweils 3000 - 8000 Fasern die mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen bestimmt. Präzise Aussagen zur Frage der Muskelfaserlänge scheiterten an methodischen Schwierigkeiten.

Die Zwerchfelle der Kinder mit einem Durchschnittsalter von 1,6 Jahren wiesen etwa halb so große Umfänge des

Centrum tendineum und des Gesamtumfanges auf wie die Zwerchfelle der Erwachsenen mit einem Durchschnittsalter von 52 Jahren. Bei Untersuchung der Zwerchfelldicken an 4 Entnahmestellen des äußeren Randes (ventral re. und li. sowie dorsal re. und li.) ergab sich ein signifikant größerer Wert re. ventral. Zwischen den Gewebsproben vom äußeren Rand, vom inneren Rand (1 - 2 cm vom Centrum tendineum) und in der Mitte dazwischen konnten dagegen keine Unterschiede dieser drei Zonen gefunden werden. Die Dicke der kindlichen Zwerchfelle war der der Erwachsenen über 50 Jahre vergleichbar, während bei den Erwachsenen unter 50 Jahren, die in der Mehrzahl akut verstorben waren, signifikant größere Werte vorlagen. Die Erwachsenen über 50 Jahre verstarben überwiegend nach längeren chronischen Leiden.

Der Anteil des Interstitiums variierte an den verschiedenen Entnahmestellen wenig, auch konnten keine signifikanten Unterschiede in den verschiedenen Lebensaltern festgestellt werden.

Die mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen nahmen bei Kindern mit steigendem Körpergewicht zu und waren bei Erwachsenen über 50 Jahre signifikant kleiner als bei Erwachsenen unter 50 Jahren. Alle erwachsenen Patienten mit kleinen mittleren Faserquerschnittsflächen wiesen ein Lungenemphysem auf. Die Untersuchung der Muskelfaserquerschnittsflächen am äußeren Rand, in der Mitte und am inneren Rand des muskulären Zwerchfellanteils ergab, daß die mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen in der Mitte signifikant kleiner waren als an den beiden anderen Entnahmestellen.

Die Gesamtzahl der am äußeren Zwerchfellrand angeschnittenen Muskelfasern (berechnet aus Zwerchfellumfang, Zwerchfelldicke und mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen korrigiert nach Bestimmung des Interstitiums) wies bei

Kindern und Erwachsenen unter 50 Jahren keine nennenswerten Unterschiede auf, bei Erwachsenen über 50 Jahre waren sie kleiner.

Die Bestimmung der Einzelfaserlängen stieß auf große methodische Schwierigkeiten. Es konnte dabei anhand von Serienschnittuntersuchungen nur das Enden und der Neubeginn von Fasern innerhalb des Muskels dargestellt werden.

Die erhobenen Befunde zeigen, daß das postnatale Wachstum des muskulären Zwerchfellanteils im wesentlichen einem Dicken- und wahrscheinlich Längenwachstum der Fasern entspricht. Die Untersuchungen sprechen gegen ein nennenswertes numerisches Faserwachstum postnatal. Im höheren Alter nehmen die Fasern offenbar auch zahlenmäßig ab, ein Punkt, über den im Gegensatz zur Frage des postnatalen numerischen Faserwachstums bisher kaum Untersuchungen vorliegen. Abgesehen davon, daß die Faserquerschnittsflächen der Zwerchfellmuskulatur unmittelbar postnatal relativ groß sind, nimmt sie keine Sonderstellung bezüglich des Wachstums unter den Skelettmuskeln ein. Einer genaueren histologischen Analyse bedürfen die Veränderungen der Zwerchfellmuskulatur in Abhängigkeit von pathologischen Veränderungen benachbarter Organe, besonders der funktionell eng verbundenen Lunge.

6. Literaturverzeichnis

ADAMS, R. D.: Diseases of muscle. A study in pathology. 2. Ed. 1962. A Hoeber medical book.

AHERNE, W.: A method of determining the cross-sectional area of muscle fibres. J. neurol. Sci. 7, 519-528 (1968)

AHERNE, W., AYYAR, D. R., CLARKE, P. A., WALTON, J. N.: Muscle fibre size in normal infants, children and adolescents. An autopsy study. J. neurol. Sci. 14, 171-182 (1971)

BOWDEN, D. H., GOYER, R. A.: The size of muscle fibres in infants and children. Arch. Path. 69, 188-189 (1960)

BOWMAN, W.: On the minute structure and movements of voluntary muscle. Philosophical Transactions p. 457-499 (1840)

BRIDGE, D. T., ALLBROOK, D.: Growth of striatet muscle in Australian marsupial. J. Anat. 106, 285-295 (1970)

BUBENZER, H. J.: Die dünnen und die dicken Muskelfasern des Zwerchfelles der Ratte. Zschr. Zellforsch. mikr. Anat. 69, 520-550 (1966)

CHIAKULAS, J. J., PAULY, J. E.: A study of postnatal growth of skeletal muscle in the rat. Anat. Rec. 152, 55 - 62 (1965)

DAVIES, A. S., GUNN, H. M.: A comparative histochemical study of the mammalian diaphragm and the m. semitendinosus. J. Anat. 110, 137-139 (1971)

DAVIES, A. S., GUNN, H. M.: Histochemical fibre types in the mammalian diaphragm. J. Anat. 112, 41-60 (1972)

DUBOWITZ, V., PEARSE, A.G.E.: Reciprocal relationship of phosphorylase and oxydative enzymes in skeletal muscle. Nature (London) 185, 701 - 702 (1960)

EDSTRÖM, L., NYSTRÖM, B.: Histochemical types and sizes of fibres in normal human muscles. Acta neurol. scand. 45, 257-269 (1969)

EISLER, P.: Muskeln des Stammes: Diaphragma. In: Handbuch der Anatomie des Menschen Band II, 2. Abtlg. 1. Teil, Jena 1912

ELIOT, T. S., WIGGINTON, R. C., CORBIN, K. B.: The number and size of muscle fibers in the rat soleus in relation to age, sex and exercise. Anat. Rec. 85, 307-308 (1943)

ESSBACH, H.: Paidopathologie VEB G. Thieme-Verlag Leipzig

FENICHEL, G. M.: The B fiber of human skeletal muscle. A study of fiber diameter size. Neurology 13, 219-230 (1963)

FROMME, H.: Systematische Untersuchungen über die Gewichtsverhältnisse des Zwerchfells. Virch. Arch. path. Anat. 221, 117-155 (1916)

GAUTHIER, G. F., PADYKULA, H. A.: Cytochemical studies of fiber types in skeletal muscle. A comparative study of the mammalian diaphragm. J. Cell Biol. 28, 333-354 (1966)

GEORGE, J. C., SUSHEELA, A. K.: A histophysiological study of the rat diaphragm. Biological Bulletin 121, 471-480 (1961)

GRÜTZNER, P.: Zur Muskelphysiologie. Breslauer ärztl. Zeitung 1887 Nr. 1

GÜNTHER, P. G.: Die morphologischen Grundlagen der Bewegungs- und Haltleistung des Zwerchfells Acta anat. 14, 54-64 (1952)

GÜNTHER, P. G.: Das muskuläre Substrat der Bewegungs- und Haltleistung des menschlichen Zwerchfells. Acta anat. 17, 348-352 (1953)

GÜNTHER, P. G.: Das tetanische und tonische Aktionssubstrat des Zwerchfells. Ärztl. Forsch. 8,5, 217-225 (1954)

HALBAN, J.: Die Dicke der quergestreiften Muskulatur und ihre Bedeutung. Anat. Hefte 3, 267-307 (1894)

HOPF, G.: Größenunterschiede der Muskelfaserquerschnitte zwischen den einzelnen Portionen des m. masseter beim Menschen und bei einigen Säugetieren. Z. mikr. anat. Forsch. 35, 195-217 (1934)

HUBER, G. C.: On the form and arrangement in fasciculi of striated voluntary muscle fibers. Anat. Rec. 11, 149-168 (1916)

HOFFMANN, A.: Der Einfluß des Trainings auf die Skelettmuskulatur. Zschr. mikr. anat. Forsch. 43, 595-622 (1938)

ISHIKAWA, H.: Electron microscopic observations of satellite cells with special reference to the development of mammalian skeletal muscles. Zschr. Anat. Entw. Gesch. 125, 43-63 (1966)

ISHIKAWA, S.:
HAYES, J. A.: Functional morphology of the diaphragm in patients with chronic obstructive lung disease. Amer. Rev. Resp. Dis. 108, 135-138, (1973)

JENNEKENS, F. G. I.,
TOMLINSON, B. E.,
WALTON, J. N.: The sizes of the two main histochemical fibre types in five limb muscle in man. J. neurol. Sci. 13, 281-292 (1971)

JOUBERT, D. M.: An analysis of factors influencing postnatal growth and development of the muscle fibre. J. agric. Sci. 47, 59-102 (1956)

MCKENZIE, H. J., OUTHRED, K. G., GLICK, M.: Postmortem evaluation of the use of diaphragmatic excurses in assessment of pulmonary emphysema in coal miners. Thorax 27, 359-364 (1972)

KÖLLIKER, A.v.: Gewebelehre des Menschen II S. 201, 1850 (1888)

KOHASHI, Zitat nach Voss 1937

KNOLL, W., BARKLEY, E.: Über funktionell bedingte Muskelstrukturen. Zschr. mikr.-anat.-Forsch. 49, 108-129 (1940)

KRÜGER, P.: Über einen möglichen Zusammenhang zwischen Struktur, Funktion und chemischer Beschaffenheit der Muskeln. Biol. Zbl. 49, 616-622 (1929)

KRÜGER, P.: Tetanus und Tonus der quergestreiften Skelettmuskeln der Wirbeltiere und der Menschen. Leipzig, Akad. Verlagsanstalt Giest und Portig 1952

LEIPNITZ, L.: Das Punktzählverfahren als quantitative Methode in der Histochemie. Histochemie 4, 123-134 (1964)

LINDNER, J.: Altern des Bindegewebes. In Handbuch der Allgemeinen Pathologie Bd. VI, 4, Herausgeber H. W. Altmann et al. (1972)

LOCKHARDT, R. D., BRANDT, W.: Length of striated muscle fibre. J. Anat. 72, 470-471 (1938)

LOETZKE, H. H.: Anatomy and development of the human diaphragm. Zentralbl. Chir. 96, 1373-1474 (1971)

MONTGOMERY, R. D.: Growth of striated human muscle. Nature 195, 194-195 (1962)

MOSS, F. P.: The relationship between the dimensions of the fibres and the number of nuclei during normal growth of skeletal muscle in the domestic fowl. Amer. J. Anat. 122, 555-564 (1968)

PAFF, G. H.: A quantitative study of the capillary supply in certain mammalian skeletal muscles. Anat. Rec. 46, 401 - 406 (1930)

PONGRATZ, D.: Differentialdiagnose der Erkrankungen der Skelettmuskulatur an Hand von Muskelbiopsien. Thieme-Verlag Stuttgart 1976

RIEDEL, B.: Das postembryonale Wachstum der Weichteile.
Untersuchungen aus dem anat. Institut zu Rostock S. 75-97 (1874)

ROLLETT, A.: Beiträge zur Physiologie der Muskeln.
Denkschr. d. Math. naturw. Kl. d. k. Akad. d. Wiss. z. Wien, Band 53, S. 193 (1887)

ROMEIS, B.: Mikroskopische Technik.
16. Aufl. München, Wien (1968)

SACHS, L.: Angewandte Statistik.
Berlin Heidelberg New York 1974

SCHIEFFERDECKER. B.: Muskeln und Muskelkerne
Leipzig, Ambros Barth 1909

SCHWALBE, G., MAYEDA, R.: Über die Kaliberverhältnisse der quergestreiften Muskelfasern des Menschen.
Z. Biol. 27, 482-516 (1840)

SCHWEIGGER-SEIDEL, F., LUDWIG, C.: Über das Centrum tendineum des Zwerchfells.
Arb. phys. Anst. zu Leipzig, S. 174-181 (1866)

SCOTT, K. W. M., HOY, J.: The cross-sectional area of diaphragmatic muscle fibres in emphysema, measured by an automated image analysis syste
J. Path. 120, 121-128 (1976)

SHAFIQ, S. A., GORYCKI, M. A., MAURO, A.:
Mitosis during postnatal growth in skeletal and cardiac muscle of the rat.
J. Anat. 103, 135-141 (1968)

SISSONS, H. A.:
Investigations of muscle fibre size
In: Members of the research committee of the muscular dystrophy group of Great Britain. Research in muscular dystrophy. Proc. of 2nd Symposium
Pitman, London, p. 89-98 (1963)

SONG, S. K., SHIMADA, N., ANDERSON, P.:
Orthogonal diameters in the analysis of muscle fibre size and form.
Nature (London) 200, 1220-1221 (1963

STEELE, R. H., HEARD, B. E.:
Size of the diaphragm in chronic bronchitis.
Thorax 28, 55-60 (1973)

STINGL, J.:
Beitrag zur Anatomie des Zwerchfells des Kaninchens.
Anat. Anz. 120, 328-334 (1967)

STINGL, J.:
Contribution to study of the postnata development of skeletal muscle.
Folia morphologica 20, 121-123 (1972)

SUCHENWIRTH, R., BUNDSCHU, H. D.:
Enzymhistologische Befunde an der Skelettmuskulatur des Menschen. I. Methoden und Ergebnisse bei Normalpersonen.
Klin. Wschr. 48, 1096-1101 (1970)

TÖNDURY, G.: Über die Entwicklung und Anatomie des Zwerchfells beim Menschen. Langenbecks Arch. Klin. Chir. 319, 722-729 (1967)

TORMENE, A.: Calibre of fibres of some skin muscles and their stromal characteristics in relation with age and function. Arch. Ital. Embriol. 60, 227-259 (1955)

VOSS, H.: Vergleichende Untersuchungen über den Aufteilungsgrad der kontraktilen Masse in den Skelettmuskeln. Z. mikr. anat. Forsch. 42, 418-429 (1937)

WEIBEL, E. F.: Principles and methods for the morphometric study of the lung and other organs. Lab. Invest. 12, 131-155 (1963)

WOHLFART, G.: Über das Vorkommen verschiedener Arten von Muskelfasern in der Skelettmuskulatur des Menschen und einiger Säugetiere. Acta psychiat. neurol. scand. Suppl. 12 (1937)

WYATT, J. P., FISCHER, V. W., SWEET, H. C.: The pathomorphology of the emphysema complex, part II. Amer. Rev. Resp. Dis. 89, 721-735, (1964)

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. W. Hort,
der mir die Durchführung dieser Arbeit im
Pathologischen Institut ermöglichte.

Ich danke weiterhin mehreren Mitarbeitern des
Instituts, insbesondere Herrn Dr. med. F. Köhler,
für die Unterstützung bei dieser Arbeit.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten

Amon, Arndt, Aurich, Aziz, Baltzer, Bernhardt, Bode, Braasch, Buchholz, Castenholz, Daume, Dehnicke, Dimroth, Dittrich, Dombrowski, Eschenbach, Exner, Friederich, Ganz, Gerdes, Golenhofer, Grundner, Habermehl, Haberich, Hamelmann, Hardewig, Havemann, Heene, Hensel, Hering, Hess, Hildebrandt, Hort, Huch, Jacob, Joseph, Kaffarnik, Kalbfleisch, Karlson, Klaus, Kleinsasser, Koecke, Koransky, Kuni, Lange, Lauer, Lütcke, Mannheim, Maroske, Martini, Massarrat, Niemeyer, Nultsch, Petry, Portig, Pots, Riecken, Rodeck, Rohen, Schachtschabel, Schaumlöffel, Schiff, Schleyer, Schmidt, Schmitz-Moormann, Schneider, Sekeris, Siegert, Straub, Stutte, Welge-Lüßen, Wesemann, Wiegandt, Willenbockel

Lebenslauf

Ich wurde am 24. 8. 1951 als Tochter der Eheleute Irmgard und Heinrich Kaiser in Eschwege geboren.

1958 Besuch der Alexander-von-Humboldt-Schule in Eschwege.

Ab 1962 Besuch der Leuchtbergschule in Eschwege (neusprachliches Gymnasium).

18. 6. 1970 Ablegen der Reifeprüfung an der Leuchtbergschule in Eschwege.

13.10.1970 Immatrikulation für das Fach Zahnmedizin an der Philipps-Universität in Marburg.

30.9.1971 Naturwissenschaftliche zahnärztliche Vorprüfung.

WS 1971/72 Zweiteinschreibung für das Fach Medizin.

17.2.1972 Naturwissenschaftliche ärztliche Vorprüfung.

28.3.1973 Ärztliche und zahnärztliche Vorprüfung.

4.8.1976 Medizinisches Staatsexamen in Marburg.

6.8.1976 Eheschließung mit Wolfgang Schneider.

Meine Medizinalassistentenzeit leistete ich an der Medizinischen Poliklinik und der Chirurgischen Klinik der Universität Marburg sowie an der Orthopädischen Klinik in Hess. Lichtenau ab und erhielt am 1.10.1977 meine Approbation. Zur Zeit bin ich als Assistenzärztin an der Orthopädischen Klinik in Hessisch Lichtenau tätig.